



Universidad
Carlos III de Madrid

**Departamento de Mecánica de Medios
Continuos y Teoría de Estructuras**

PROYECTO FIN DE CARRERA

**INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL
ESPECIALIDAD MECÁNICA**

TÍTULO

**ESTUDIO, DISEÑO Y DESARROLLO DE
CAJAS FUERTES DE GRADO V**

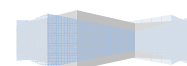
Autor: ALFONSO MIGUEL DOMÉNECH JIMÉNEZ

Tutor: CARLOS SANTIUSTE ROMERO

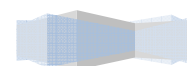
**Proyecto realizado en colaboración con Stanley
Security Solutions**

Leganés, 9 de octubre de 2012

1. INTRODUCCION	4
1.1.Motivación	4
1.2.Objetivos	7
1.3.Estructura del proyecto	8
2. REQUISITOS DE DISEÑO	9
2.1. Antecedentes	9
2.2. Definiciones	9
2.3. Requisitos	12
2.3.1. Clasificación de las cajas	12
2.3.2. Requisitos generales	12
2.3.3. Cerraduras	14
2.4. Descripción de materiales	15
2.4.1. Acero	15
2.4.2. Hormigón	17
2.4.2.1. Introducción y requerimientos del hormigón	18
2.4.2.2. Cemento	19
2.4.2.3. Adiciones	19
2.4.2.4. Áridos	19
2.5. Acciones contra la seguridad de la caja	21
2.5.1. Ataques con herramientas	21
2.5.1.1. Taladrado	21
2.5.1.2. Corte con amoladora (corte radial)	23
2.5.1.3. Lanza térmica	25
2.6. Anclajes	26
3. DISEÑO PRELIMINAR	27
3.1. Diseño general de la estructura	27
3.1.1. Diseño estructural general	27
3.1.2. Selección de materiales	29
3.1.2.1. Acero	29
3.1.2.2. Hormigón	32
3.1.3. Muestreo y selección de herramientas de ataque	34
3.1.3.1. Taladrado	34
3.1.3.2. Corte con amoladora (corte radial)	40
3.1.3.3. Lanza térmica	45



3.1.4. Ensayos	46
3.1.4.1. Taladrado	47
3.1.4.2. Corte con amoladora (corte radial)	50
3.1.4.3. Lanza térmica	51
3.1.4.4. Primeras conclusiones	53
3.2. Diseño mecanismo de pestillería	53
3.2.1. Modelo de mecanismo	53
3.2.2. Diseño estructural de la maneta	56
3.2.3. Dimensionamiento de bulones	60
3.3. Diseño y selección de cerraduras	63
3.3.1. Cerradura mecánica	63
3.3.2. Cerradura electrónica con retardo y bloqueo	65
3.4. Selección e instalación de delatores de seguridad	67
3.4.1. Descripción del mecanismo	67
3.4.2. Análisis de puntos débiles	67
3.4.3. Paneles de Cristal	67
3.4.4. Bulones de Bloqueo	68
4. DISEÑO FINAL	70
4.1. Estructura de la caja	70
4.1.1. Detalle de los paneles del cajeadado	70
4.1.2. Detalle de la puerta	72
4.1.2.1. Mecanismo de cierre	72
4.1.2.2. Puntos notables	78
4.2. Datos técnicos	81
4.2.1. Componentes y materiales de las estructuras principales	81
4.2.2. Componentes y materiales de las estructuras auxiliares	84
4.3. Prestaciones	84
4.3.1. Características comunes de cajas de Grado V	85
4.3.2. Características de mejora de calidad	86
4.4. Fabricación	87
4.5. Valoración y viabilidad económica	89
5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	93
6. BIBLIOGRAFÍA	95
7. ANEXOS	97



1. INTRODUCCION

1.1. MOTIVACIÓN

A lo largo de la historia, la sociedad ha invertido grandes cuantías de capital en mejorar su seguridad y la de sus pertenencias. Gracias a esto, se desarrollaron dispositivos capaces de hacer frente al espectro de acciones que alteran esta situación de bienestar que para todos es necesariamente vital. Para ello, se han desarrollado diversos mecanismos que salvaguardan diferentes campos de la propiedad privada. En nuestro estudio, analizaremos la parte fundamental del campo de la Seguridad Física: "Las Cajas Fuertes"; entendemos como Seguridad Física al campo de aplicaciones y actuaciones que identifican vulnerabilidades, amenazas y las medidas que pueden ser utilizadas para proteger físicamente bienes materiales, información almacenada o personas.

Las cajas fuertes llevan fabricándose desde la época de los romanos, en la que fabricaban estas *bóvedas* únicamente con madera, listones de metal y finas borjas de metal que tras alinearse con una llave permitían el acceso a su interior. Las primeras aportaciones a los diseños de cajas fuertes, pasaron por desarrollar complejos mecanismos de pestillería ocultos en la superficie de la puerta que accionan bulones de bloqueo, dejando las ranuras de acceso a las cerraduras únicamente de manera ornamental. Ver Figura 1.1.

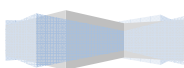




Figura .1.1 Caja fuerte Siglo XVI

En la actualidad, la caja fuerte está constituida estructuralmente por materiales, compuestos principalmente por acero y hormigón, con mecanismos interiores complejos y bulones de bloqueo de gran resistencia (Ver Figura 1.2). La unión de estos materiales, da como resultado unas paredes de gran resistencia a las posibles sollicitaciones a las que sometamos a la misma. Por un lado, el hormigón aporta resistencia a compresión, robustez de las paredes frente a explosivos en superficie, le da cierta resistencia al fuego (puede llegar a considerarse que las paredes son ignífugas) y sirve como resistencia activa frente a diferentes herramientas de corte. Por otro lado el acero conforma la estructura general de la caja, le da forma y es la base principal donde se alojan el resto de elementos de seguridad de la caja. Este material, es muy tenaz y duro, y a pesar de esto, es dúctil y maleable, por lo tanto podemos utilizarlo tanto para las paredes como para la pestillería interior.

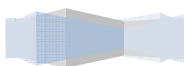
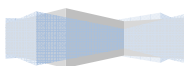




Figura.1.2 Caja fuerte grado IV actual modelo AP-6M, fabricante Ollé.

Otro elemento diferencial de las cajas fuertes, en el abanico de servicios y prestaciones que han ido adquiriendo conforme iban evolucionando. Los elementos de cerrajería y pestillería han pasado de ser meramente elementos de cierre, a complejos mecanismos de bloqueo con delatores de seguridad y bulones adicionales, provocando que la misma caja actúe como un elemento activo que opere frente a ataques exteriores.

Conjuntamente, las cerraduras (elemento principal dentro del campo de la cerrajería) han ganado en seguridad, teniendo tanto modelos mecánicos como electrónicos. Ambas variantes han de actuar de forma simultánea y coordinada, ya que siempre es necesaria la intervención física de un usuario para la apertura de la caja, y no está permitido el bloqueo general únicamente con elementos electrónicos controlados de forma remota. Las cerraduras mecánicas cada vez disponen de más posibles combinaciones y de menos opciones para ser aperturadas sin su correspondiente llave, consiguiendo que cada vez haya menos personas cualificadas y dispositivos de apertura capaces de forzarlas de manera efectiva y en poco tiempo. Por otro lado, las electrónicas son cerraduras cuyo único método de comunicación con el exterior es un cable gobernado por sistemas electrónicos complejos, haciendo imposible el forzado mecánico.



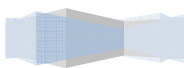
En España, no existe una cultura extendida en el ámbito de la Seguridad Física, es por ello que los principales fabricantes tienen sus laboratorios de investigación y desarrollo en Estados Unidos y Alemania. Nuestro mercado pasa únicamente por ser importador de tecnología y conocimientos, dejando las mayores ventajas competitivas a empresas de carácter multinacional y con sedes extranjeras.

En el ámbito específico de negocios en que desarrollo mis tareas como ingeniero, el hecho de poder controlar la selección de materiales, métodos de fabricación y diseño de las cajas añade una ventaja considerable frente a los competidores del mismo mercado. Conjuntamente, habilita la posibilidad de ofrecer servicios de mantenimiento y reparación adaptados y de una calidad y precio muy competitivos.

1.2. OBJETIVOS

El objeto del estudio será, por tanto, buscar un diseño final que optimice funcionalidad, prestaciones, ergonomía y seguridad por encima de las prestaciones que ofrecen las cajas fuertes en el mercado. Para ello, el dispositivo incluirá:

- Diseño estructural, resistente frente a impactos (incluidas explosiones), perforaciones, corte, incendios y agua (impermeabilidad). Estas prestaciones no buscan impedir el acceso al contenido, sino retrasar lo más posible el mismo, para que se personen los cuerpos de seguridad tras ser avisados por los sistemas de alarma.
- Preinstalación para anclaje al suelo, mediante sistema de zapatas de hormigón y tornillos de alta resistencia. Imprescindible para evitar que la



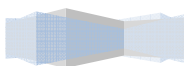
caja sea robada en todo su conjunto y pueda ser violentada sin ningún requerimiento de tiempo.

- Sistema automático de control de acceso exclusivo, integrado en el mecanismo de la caja fuerte y con diseño mejorado para su mantenimiento. Gestiona usuarios, aperturas e induce un retardo de apertura en la caja, según indica la normativa de cajas fuertes.
- Cerradura de borjas para caja fuerte homologadas.
- Mecanismo de pestillería que habilite el funcionamiento del resto de dispositivos mencionados mediante una maneta externa.
- Bulones de bloqueo con alta resistencia a cizalladura.
- Delatores de seguridad en caso de acceso no permitido a la pestillería.

1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El documento consta de 5 capítulos, los cuales están detallados a continuación:

- **Capítulo I:** Breve texto introductorio, donde se muestra el problema y se relata de manera superficial el dispositivo a estudiar y mejorar.
- **Capítulo II:** Compuesto por los requisitos de diseño, normativa vigente y descripción del problema a abordar.
- **Capítulo III:** Diseño preliminar del proyecto, donde se incluyen ensayos completos de materiales, planos detallados de los mecanismos y alternativas estudiadas.

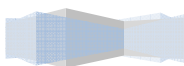


- **Capítulo IV:** Diseño final y resultados del análisis, incluidas las soluciones que se dan al problema general planteado y comentarios sobre la alternativa seleccionada.
- **Capítulo V:** Conclusiones y trabajos futuros.

2. REQUISITOS DE DISEÑO

2.1. ANTECEDENTES

En este capítulo se van a introducir los conceptos que ayudan a comprender mejor cada uno de los apartados de este proyecto. Se partirá por ampliar los conocimientos sobre las cajas fuertes y los dispositivos auxiliares que deben contener.



Adicionalmente, se describirán los elementos auxiliares que se pueden incluir en la caja fuerte como opción incremental de la seguridad.

2.2. DEFINICIONES

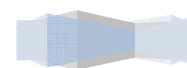
La norma **UNE-EN 1143-1:1997** define en su apartado 3 caja fuerte como **"unidad de almacenamiento que protege su contenido contra el robo y que, una vez cerrada, tendrá al menos una de sus paredes interiores de una longitud $\leq 1\text{m}$ ".**

Se plantean adicionalmente las siguientes consideraciones, en función de la constitución de la caja fuerte:

- **"Caja fuerte autónoma: Caja fuerte cuya protección contra el robo radica solamente en los materiales y la construcción utilizados durante su fabricación en origen y no en los materiales incorporados o unidos durante su instalación."**
- **"Caja fuerte empotrable: Caja fuerte cuya protección contra el robo depende en parte de los materiales incorporados a ella, o añadidos durante su instalación."**
- **"Cámara acorazada: Unidad de almacenamiento que protege contra el robo y que, una vez cerrada, las longitudes de las paredes interiores son $>1\text{ m}$ en todas las direcciones."**
- **"Puerta de cámara acorazada: Puerta de acceso a la cámara acorazada con cerradura(s), mecanismos de cierre y marco."**

No obstante, una caja fuerte no es solo un elemento físico que impide el robo por su resistencia a las herramientas, y por ello, se definen los siguientes conceptos:

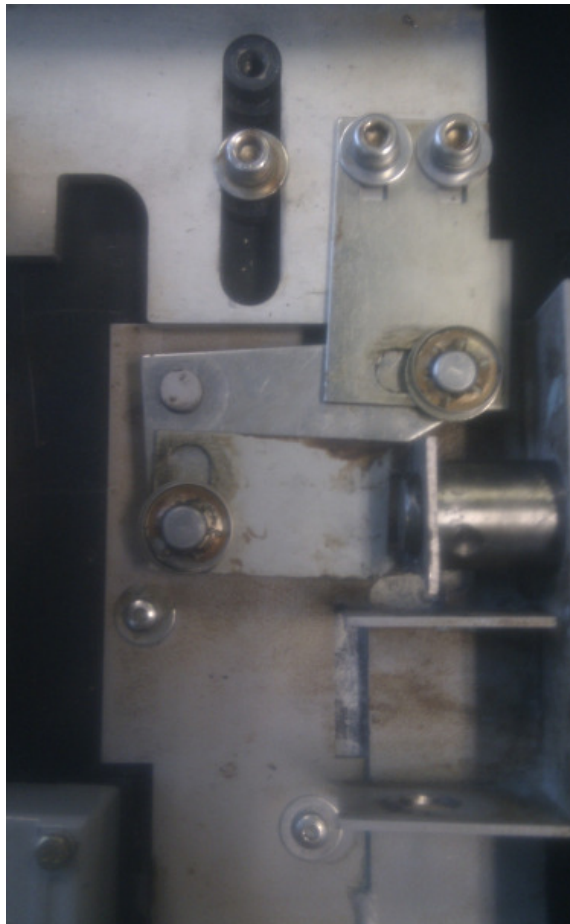
- **"Accesorios: Elementos/dispositivos de la estructura de una cámara acorazada o de la puerta de una cámara acorazada, o que la atraviesan para la ventilación o depósito de fondos y bienes."** Estos elementos no necesariamente aportan puntos de seguridad adicionales, desempeñan funciones variadas dentro de las propiedades que se quieran añadir a la caja. Algunos de ellos son muy importantes ya que pueden ser dispositivos de alarma, sísmicos anti-intrusión o reguladores de ambiente.



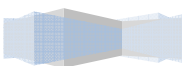
- **"Mecanismos de cierre: Mecanismos por los cuales una puerta cerrada se mantiene así para que, hasta que esté en posición de apertura, la puerta no pueda ser abierta."** Los más utilizados son los denominados bulones, elementos cilíndricos macizos de metal de alta resistencia a cizalladura. Se disponen a través de todo el perfil de la puerta y su movimiento depende de la cinemática del mecanismo que incluye la misma. La cantidad de estos varía en función del grado de seguridad que se quiera aportar a la caja, y la estructura general del mecanismo de pestillería.

Figura.2.1 Mecanismo de cierre

- **"Cerradura: Dispositivo capaz de reconocer un código de entrada y que desempeña una función de bloqueo de los mecanismos de cierre o de la puerta."** Este elemento es especialmente importante, y por ello el proyecto incluye en el *capítulo III, apartado 3.3* un detallado análisis de



cerraduras mecánicas y un diseño propio. Además, las cerraduras deben cumplir la norma **UNE-EN 1300:2005:****"Unidades de almacenamiento de**



seguridad. Clasificación de cerraduras de alta seguridad de acuerdo con su resistencia a la apertura no autorizada.”

Esta norma define **cerradura de Alta Seguridad (CAS) como:** **“Ensamblaje independiente normalmente montado en puertas de unidades de almacenamiento de seguridad, en el que se pueden insertar códigos para compararlos con códigos memorizados (unidad procesadora); si ambos coinciden se permite, mediante el código de apertura, el desactivado de un mecanismo de bloqueo.”**

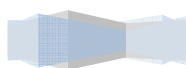
- **Dispositivo de rebloqueo: Sistema que incluye elementos de bloqueo y detección que impedirán que los mecanismos de cierre sean desactivados si se detecta un intento de robo.”** Al igual que los mecanismos de cierre antes mencionados, los rebloqueos más utilizados son bulones cilíndricos, aunque suelen ser más pequeños y de menor resistencia que los principales. Estos se instalan para evitar los robos, no son dispositivos estandarizados y depende mucho del mecanismo de cierre y de su cinemática. Su funcionamiento es muy sencillo pero de una gran importancia, ante la intrusión, bloquean eslabones de la cadena cinemática, imposibilitando el movimiento de esta y bloqueando por completo el movimiento de los bulones principales de cierre. Los bulones de rebloqueo deben estar diseñados sin un patrón específico, y que sea difícil identificar donde se sitúan mediante pruebas rápidas, ya que pueden ser atacados e inutilizados dado su sencillo funcionamiento, antes del ataque principal a la caja.



Figura.2.2 Bulón de rebloqueo en posición de abierto (sin actuar)

2.3. REQUISITOS

2.3.1. Clasificación



Según apartado 4.1 de la norma **UNE-EN 1143-1:1997** "**Las cajas fuertes son clasificadas con una clase de resistencia según la tabla 1 [...]. Para obtener la designación EX, se deben cumplir requisitos adicionales (véase 4.3). La designación EX es opcional**"

Se puede consultar la tabla 1 completa en el *Anexo A*.

De acuerdo a estas indicaciones, para el diseño de una caja de grado V, necesitamos cumplir con las siguientes características:

Clase de Resistencia	Ensayo de ataque con herramienta		Fuerza de anclaje	Cerraduras		Requisitos adicionales para la designación EX (opcional)
	Valor de resistencia		Fuerza requerida			Valor de resistencia post-detonación
	al acceso parcial RU ¹	al acceso completo RU	KN	Cantidad	Tipo de acuerdo con la norma Europea EN 1300	RU
V	180	270	100	2	B	14

Figura. 2.3 Requisitos mínimos para una caja fuerte autónoma de Grado V

2.3.2. Requisitos generales

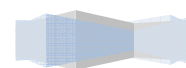
Conforme a las pautas de la figura 2.3, para que la caja cumpla con la designación de Grado V debe cumplir con los parámetros detallados a continuación, cabe destacar, que estos valores son mínimos y necesarios, cualquier aportación adicional al diseño se considerará como una mejora extra.

- **Ensayo de ataque con herramienta**

Para el ensayo de ataque con herramienta, se deben realizar pruebas con probetas según indica la norma, tal y como se detalla en el *capítulo III, apartado 3.1.4 Ensayos*. Es necesario considerar las dos variantes de acceso a la interior de la caja fuerte:

- *Ensayo al acceso parcial*, se tiene en cuenta a la hora de evaluar la resistencia que tiene la caja a pequeñas intrusiones. Este tipo de intervenciones buscan actuar sobre algún elemento de la cadena cinemática del mecanismo y anularlo, de manera precisa y buscando reducir drásticamente el tiempo que se tarda en acceder al interior.
- *Ensayo al acceso completo*. Son intervenciones mucho más dañinas para la caja, buscan acceder al contenido de manera muy directa. Suelen utilizarse maquinaria de gran potencia y/o grandes capacidades de corte, tales como radiales y lanzar térmicas.

¹ RU: Unidad de resistencia, definida como resistencia al robo resultante de un minuto de uso de una herramienta de coeficiente 1 y valor 0.



- **Fuerza de anclaje**

Esta consideración solo se tendrá en cuenta si la caja llega a pesar menos de 1000kg.

- **Cerraduras**

El mecanismo de cierre debe incluir, al menos, dos cerraduras de Grado B según la norma UNE-EN 1300. Ambas deben tener acceso desde el exterior por un orificio que no debe exceder los 100mm², con el fin de poder introducir la llave que accione la apertura de la cerradura. *Consultar apartado 2.3.3 Cerraduras*

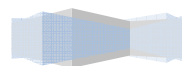
- **Designación EX**

Esta especificación se realiza con el fin de determinar la resistencia a ataques con explosivos. Se realiza un ensayo de ataque de herramienta tras la acción de un explosivo sobre la probeta, dando como resultado un valor de resistencia que se ha de comparar con la tabla dada.

El apartado 4.3 de la norma **UNE-EN 1143-1:1997** añade que ***"Para la designación EX, las cajas fuertes, las puertas de cámaras acorazadas y las cámaras acorazadas (con o sin puerta) deberán cumplir con el valor de resistencia por detonación de acuerdo con las tablas 1 y 2, y deberán tener contruidos los orificios para cables de tal manera que los explosivos (por ejemplo detonadores o cargas) no puedan ser introducidos a través de dichos orificios"***.

2.3.3. Cerraduras

Las cerraduras componen un elemento de diseño fundamental dentro del análisis de la caja fuerte. Según la figura 2.3 la caja fuerte Grado V requiere, al menos, dos



cerraduras clase B, definidas por los parámetros de las tablas 1, 2 y 3 de la norma **UNE-EN 1300:2005**. Estas tablas se pueden consultar en el *Anexo B*.

Conforme a estas tablas, los requisitos específicos para la determinación del tipo de cerradura en el caso expuesto en este proyecto son:

En primera estancia, se van a considerar las cerraduras a seleccionar del tipo mecánico, ya que los tipos y las complejidades de los ensayos a los que se ven sometidas son más sencillos. Además, que la disponibilidad para realizar este tipo de ensayo queda bastante limitado dado la necesidad de máquinas complejas, por ello no se consideran los datos referentes a las tablas 2 y 3 en una primera aproximación.

Figura. 2.4 Requisitos mínimos para la selección de cerraduras

Además de estas consideraciones de clase se deben cumplir los requisitos generales de seguridad y fiabilidad. Apartados **5.1, 5.2 y 5.3, páginas desde la 9 a la 12**

Tipo y clase de CAS	Número mínimo de registros retenidos de eventos de apertura	Número mínimo de códigos utilizables para cada tipo de codificación		Número máximo de pruebas por hora para cada tipo de medio de codificación		Resistencia a la manipulación M	Resistencia D a robo con daños
		Codificación material	Codificación nemotécnica	Cualquiera	Nemotécnico	Unidades de resistencia mínimas RU	Unidades de resistencia mínimas RU
B	10	100000	100000	100		60	135
electrónica							
mecánica	no aplicable	100000	100000	no aplicable		60	135

ambas incluidas:

5.1 Requisitos generales

5.1.1 Requisitos para todas las clases

5.1.2 Clase de CAS D

5.1.3 CAS mecánicas operadas con llave

5.1.4 Altura dealzada para cerraduras mecánicas con llave

5.1.5 CAS electrónicas

5.2 Requisitos de seguridad

5.2.1 Códigos utilizables

5.2.2 CAS con dispositivo de suplantación

5.2.3 Resistencia a manipulación

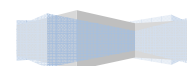
5.2.4 Resistencia al robo con daños

5.2.5 Resistencia al espionaje

5.2.6 Resistencia eléctrica y electromagnética

5.2.7 Resistencia a los factores medioambientales físicos

5.2.8 Ensayo de resistencia a temperatura



5.3 Requisitos de fiabilidad

2.4. DESCRIPCION DE MATERIALES

El diseño de la caja fuerte pasa por el análisis avanzado de materiales. Se han de seleccionar los más recomendables en base a las solicitudes a las que se vayan a ver sometidos.

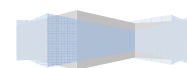
Para ello se deben diferenciar las diversas estructuras y las funcionalidades que van a desempeñar, y aplicar los criterios de selección que sean necesarios para asegurar que van a cumplir con sus características de resistencia exigidas.

Los primeros diseños de cajas fuertes eran creados por la experiencia personal del profesional, utilizando hierro y madera con mecanismos de cierre muy sencillos. En la actualidad, se utilizan las teorías de Ingeniería de Materiales junto con ensayos de gran precisión para buscar soluciones operativas y económicamente recomendables para estos dispositivos. Los dos materiales más utilizados en la actualidad son el Acero y el Hormigón.

2.4.1. Acero

El principal material que gobierna la caja fuerte es el acero. Toda la estructura está compuesta por un perfil tipo sándwich, en el que el acero delimita las paredes exteriores, siendo el primer y último elemento resistivo que se encuentra. Da forma a la caja, es responsable del acabado de la caja y en el van alojados la gran mayoría de accesorios.

El acero es una aleación cuyo complemento principal es el hierro, al que se le añade carbono y diferentes aditivos que mejoran las propiedades de la aleación. En función de cómo se elabore el acero, obtendremos diferentes propiedades. Para las primeras cajas fuertes, se utilizaban aceros aleados endurecidos por temple y revenido, aumentando considerablemente la dureza y, por lo tanto, la resistencia al desgaste. Esto conlleva una reducción de la tenacidad del material aumentando el riesgo de roturas, y dificultando tareas de modelado y montaje, siendo necesaria la búsqueda de nuevos materiales si se desea mejorar las características resistentes del mismo. Los aceros aleados son aquellos aceros que a parte de los principales 5 elementos (carbono, silicio, manganeso, fósforo y azufre), contienen también cantidades importantes de otros elementos, tales como cromo y níquel, que sirven



para mejorar propiedades fundamentales, es por esto que se deben considerar cuales son las proporciones ideales para el diseño final de la caja.

Dentro de los posibles aceros de los que se disponen, se deben evaluar los requerimientos que plantea el diseño de una caja fuerte:

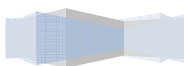
- Alta tenacidad, que permita al material absorber una gran cantidad de energía antes de romperse.
- Alta dureza, que dificulte la abrasión del material, y por tanto, las tareas de taladrado y corte.
- Resistencia natural a la corrosión.
- Ductilidad y maleabilidad, facilitando el conformado del material.

Tres características más serán consideradas, no obstante, y siendo la seguridad prioritaria, pasarán a un segundo plano siempre que una de las características principales se vea mermada:

- Densidad reducida
- Bajo coste
- Capacidad del material para ser soldado, habilitando la inclusión de refuerzos estructurales y facilitando el montaje de las diferentes partes de la caja.

El acero además de utilizarse en las paredes de la caja, será componente principal de la pestillería y del sistema de cierre de la puerta, no obstante, se utilizaran variantes cuyas características difieran un poco de los elementos resistivos de las paredes:

- Maleable, con la finalidad de poder diseñar chapas de espesores reducidos pero resistentes.
- Resistentes a la fatiga, ya que elementos como bulones de enlace entre eslabones, llaves y manetas se verán sometidos a ciclos de utilización que pueden provocar este tipo de fallo.
- Resistente a corrosión.



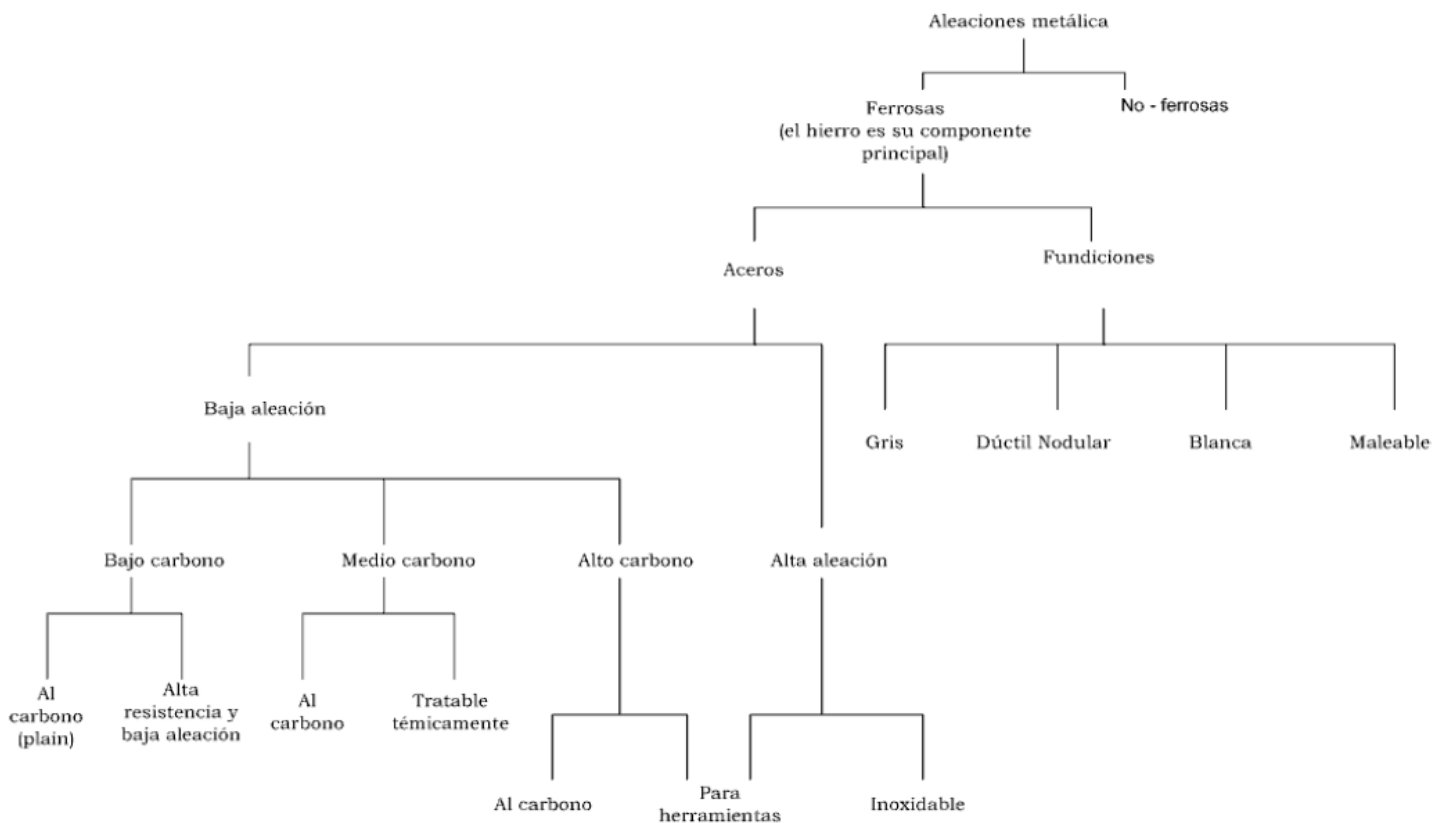


Figura.2.5 Clasificación de las aleaciones metálicas

2.4.2. Hormigón

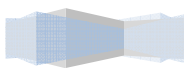
2.4.2.1. Introducción y requerimientos del hormigón

El segundo material en importancia dentro del diseño es el hormigón que contendrán las paredes de la caja. Al ser un material muy variable dentro de su composición y sus características, supone un punto importante a destacar de cara a crear un valor añadido a las propiedades del diseño final.

Las características que se exigen de este material son:

- Alta resistencia al desgaste
- Alta dureza.
- Barato, ligero y de fácil accesibilidad, ya que supone el volumen más alto de material utilizado en la caja fuerte.

Como característica adicional, y que suponga un punto extra de mejora dentro del diseño, se intenta buscar que el hormigón actúe de forma activa de seguridad:



- Dañando los filos de las herramientas que penetren en el material
- Inutilizando discos de corte radial.
- Actuar de forma conjunta y activa con las planchas de acero.

Actualmente, el hormigón únicamente funciona como una medida pasiva de resistencia, y solo implica realizar un cambio de herramienta de taladrado, pasar de filos para aceros a filos para piedra, y no tienen influencia frente a herramientas de corte radial y percusión.

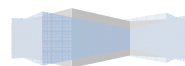
2.4.2.2. Descripción y análisis de composición

La normativa que regula el uso de hormigón es la **Instrucción de Hormigón Estructural "EHE"** según el *REAL DECRETO 2771/1998, de 11- DIC B.O.E.:13-ENE-99*. No obstante, el campo de aplicación que compite las cajas fuertes no entra dentro de estas consideraciones según indica en su *Artículo 1º: "Expresamente se excluyen del campo de aplicación de esta Instrucción: [...] –los elementos estructurales mixtos de hormigón y acero estructural y, en general, las estructuras mixtas de hormigón y otro material de distinta naturaleza, con función resistente."* Sin embargo, son de gran ayuda para entender mejor el problema del hormigón dentro del proyecto, las consideraciones y especificaciones están incluidas en el *Título 3º, capítulo VI, Artículos del 26º al 30º* ambos inclusive.

El hormigón es un tipo de piedra artificial formada por:

- Cemento
- Agua
- Áridos
- Aditivos
- Adiciones

Se deben evaluar las propiedades exactas que se utilizan para cada tipo de hormigón, ya que cada una dará ciertas propiedades al resultado final de la mezcla. El tipo de hormigón más utilizado es el hormigón armado, y que constituye la columna vertebral de la actual edificación, no obstante, en las cavidades disponibles en las paredes de la caja, el espacio es reducido como para crear algún tipo de armadura habitual para el hormigón, ya no se esperan solicitaciones por tracción o flexión que requieran de su utilización. El hormigón utilizado en las cajas fuertes actuales es un hormigón en masa con áridos de tamaño reducido.



2.4.2.3. Cemento

Para el hormigón en masa que se va a utilizar, se deben utilizar cementos para usos especiales (Figura.2.6.) regulados por la norma **UNE 80307:96**. El cemento es el conglomerante del hormigón, no tiene una función resistiva de influencia, pero si interviene en el resultado final, para ello, se debe seleccionar un cemento con un tamaño de grano óptimo.

Tipo de hormigón	Tipo de cemento
Hormigón en masa	Cementos comunes Cementos para usos especiales
Hormigón armado	Cementos comunes
Hormigón pretensado	Cementos comunes de los tipos CEM I y CEM III/A-D

Figura.2.6 Especificación de los cementos en función del tipo de hormigón.

2.4.2.4. Adiciones

Según la instrucción IHE **"adiciones son aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finalmente divididos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle características especiales."** Actualmente, en los hormigones en masa utilizados en las cajas fuertes, se incluyen aditivos con intención de abaratar costes, ya que se utilizan para "ocupar" volumen y reducir el consumo de cemento y áridos.

2.4.2.5. Áridos

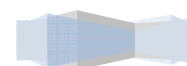
Los áridos son necesarios en el hormigón ya que:

- Disminuye el costo por unidad de volumen de hormigón.
- Aumenta la resistencia del hormigón a partir del árido.
- Disminuyen las retracciones.

Los tipos de Hormigón según el árido que se les añade:

- *Gravas > 4 mm*
- *Arenas < 4 mm (Gruesa > 2 mm) (Fina < 2 mm).*
- *Filler o Polvo < 0,08 mm.*

Los áridos son definidos por el tamaño mínimo d y máximo D en milímetros, de acuerdo con la expresión "**árido d/D** ". Las propiedades mecánicas que deben cumplir los mismos atendiendo a la normativa vigente son:



- *Adherencia.*

Cuando mayor sea la adherencia entre el árido y el cemento, mayor será la resistencia del hormigón.

- Influye:
 - ✓ La forma de los áridos.
 - ✓ Texturas.
 - ✓ Porosidad.
 - ✓ Son perjudiciales los finos.

- *Resistencia al desgaste.*

Afecta a la resistencia mecánica del hormigón y a la durabilidad.

- Debe cumplir la norma **UNE-EN 1097-2:2010** ***"Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación"***.
- **UNE 83115:1989 EX:** ***"Áridos para hormigones. Medida del coeficiente de friabilidad de las arenas."***

- *Designación y tamaño de áridos.*

- Tamaño máximo del árido según la norma **UNE-EN 933-2:1996:** ***"Mínima abertura del tamiz de la serie UNE por el que pase más de un 90% en peso y por el tamiz doble, pase la totalidad de la muestra."***
- Tamaño mínimo del árido según la norma **UNE-EN 933-2:1996:** ***"Máxima abertura de los tamices de la serie UNE por el que pase menos del 10% de la muestra."***

- La resistencia mecánica de los áridos a emplear es:

- ✓ Calizas blandas: 10/15 MPa
- ✓ Calizas duras y arenisca: 50/150MPa
- ✓ Gres, gravas, basalto, granito: 100/250MPa
- ✓ Cuarcitas 250/350Mpa



2.5. ACCIONES CONTRA LA SEGURIDAD DE LA CAJA

Cualquier caja fuerte, con tiempo, puede ser abierta, por ello, la principal función de una caja es aguantar el mayor tiempo sin que exista acceso a su interior. En los requisitos establecidos por la norma, se establecen unos tiempos mínimos en función de la herramienta que se esté utilizando.

Cada herramienta tiene un uso concreto, y supone un tipo de intrusión diferente, para conocer exactamente el efecto que pueden producir y cuál es el campo de aplicación, es necesario analizar el funcionamiento puntual a la hora de realizar un ataque a una caja fuerte.

El análisis desde el punto de vista de la Tecnología Mecánica es fundamental para poder dar datos concretos para el resto del diseño. Es necesario establecer unos parámetros iniciales de tiempo y resistencia para poder seleccionar estructuras y materiales. A continuación, se incluye una introducción teórica a los principales métodos utilizados para abrir cajas fuertes:

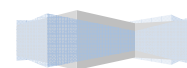
2.5.1. Taladrado

El taladrado es una de las principales causas que hay que analizar para estimar la calidad final de una caja fuerte. Las tareas de taladrado se pueden considerar de precisión, ya que el objetivo que tienen es abrir un orificio que ataque directamente a la pestillería, cerradura o bulones de bloqueo, consiguiendo abrir limpiamente la caja sin riesgo a dañar el contenido de la misma.

Para realizar una apertura mediante taladrado, es necesario un conocimiento muy avanzado de donde se debe atacar, ya que el resultado de esta operación de mecanizado es una abertura de pequeño diámetro, cuya principal funcionalidad es la de poder forzar alguno de los elementos de la cadena cinemática y poder desplazar los pestillos hasta la posición de puerta abierta.

Los datos a obtener durante el estudio del taladrado son:

- Designación de materiales para las herramientas
- Obtención de valores de resistencia y tiempos de taladrado
- Clasificación de los filos a utilizar y asignación de las unidades de resistencia según apartado 4.1 de la norma **UNE-EN 1143-1:1997**.



Los principales parámetros a tener en cuenta para la estimación del tiempo que se va a dedicar a realizar esta tarea de mecanizado son:

- Velocidad de corte (v_c):

Definida como la velocidad lineal relativa de la herramienta respecto de la pieza en la dirección y sentido del movimiento de corte. Depende del diámetro de la pieza de taladrado (brocas) y de las revoluciones a las que se está sometiendo a la pieza.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \gg [v_c] = \text{m}/\text{min}; [D] = \text{mm}; [n] = \text{r.p.m.}$$

Formula 0.1

- Avance de la herramienta (a):

Definido como el camino recorrido por la herramienta en cada revolución o carrera expresado en milímetros.

$$a = \frac{v_a}{n} \gg [v_a] = \text{mm}/\text{min}; [n] = \text{r.p.m.}$$

Formula 0.2

- Tiempos de taladrado:

Este es el valor fundamental del estudio, y el que determina el grado de la herramienta que estamos utilizando. Es proporcional a los anteriores parámetros definidos.

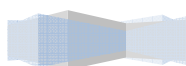
$$t_t = \frac{L}{v_a} = \frac{l + 0,3D}{a \cdot n} = \frac{(l + 3D) \cdot \pi \cdot D}{a \cdot v_c \cdot 1000}$$

Formula 0.3

$l \equiv \text{longitud del taladro [mm]}$

$D \equiv \text{diámetro de la broca [mm]}$

En resumen, para el buen diseño de los paneles de la caja, este valor tiene que ser máximo, por lo tanto se buscará un material que provoque que las brocas con las mejores prestaciones tengan un avance y/o una velocidad de corte mínimas. La ruptura de los filos de corte de las brocas es también un factor a tener en cuenta, ya que produce un tiempo de cambio de herramienta adicional, en el que no se produce ninguna tarea de mecanizado adicional.



2.5.2. Corte con amoladora (corte radial)

Las amoladoras de mano, son herramientas basadas en el rectificado, siendo este un procedimiento de conformado por arranque de viruta fundado en la acción cortante de unos cuerpos abrasivos llamados muelas. Es decir, los filos que utiliza no son determinados, el corte lo efectúan granos abrasivos de dureza mayor al elemento a cortar. Generalmente los granos abrasivos son tipo cerámicos, y superan con creces la dureza de los aceros.

Las particularidades del rectificado a utilizar como acción frente a la seguridad funcional de la caja son:

- **Rectificado plano con muela tangencial:** El eje de giro de la muela es paralelo a la superficie a cortar, con lo que la parte que trabaja es la periférica de la misma. Se pueden utilizar discos de corte estrechos (habitualmente conocidos como discos de radial), que puedan penetrar fácilmente en el material, produciendo cortes lineales característicos a lo largo de la superficie recorrida.
- **Relativa facilidad de adquisición de discos de corte:** Los discos de corte se pueden adquirir en el mercado fácilmente, además de ser muy rápido el cambio de herramienta, provocan que este tipo de acción contra la caja sea el más utilizado y, en principio, eficaz.
- **Cortes poco precisos:** El corte radial no busca actuar contra un elemento concreto, sino que trata de abrir un butrón de dimensiones considerablemente grandes como para poder acceder al contenido de la caja.

Los parámetros a considerar para estimar el tiempo de corte con esta herramienta de rectificado son:

$$t_p = \frac{E}{V_m} \text{ [min]}$$

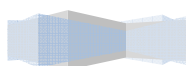
Formula 0.4

- V_m es el recorrido de la herramienta a lo largo de la superficie a trabajar

$$v_m = a_1 \cdot n \text{ [mm/min]}$$

$a_1 \equiv$ avance longitudinal por vuelta

$n \equiv$ número de revoluciones por minuto de la pieza



- E es el recorrido total a efectuar

$$E = L \cdot n_c = L \cdot \frac{B \cdot s}{a_1 \cdot p}$$

Formula 0.5

$L \equiv$ recorrido longitudinal o carrera

$n_c \equiv$ numero total de carreras necesario

$B \equiv$ recorrido transversal

$s \equiv$ espesor radial a eliminar

$p \equiv$ profundidad de pasada

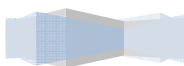
Para el caso concreto de una línea de corte, se plantean las siguientes condiciones de contorno:

$B = 1$; La radial unicamente actua en una línea, no en una superficie.

$s \equiv$ espesor del disco de radial

$p \equiv$ maximo que soporte el filo

Como primeras consideraciones, el diseño de la caja debe suponer en cuanto tiempo se puede abrir un butrón de un tamaño adecuado para acceder al contenido de una manera fiable y suficiente. Ante esto, se deben intentar aumentar los tiempos de cambio de herramienta (introduciendo materiales que dañen los discos), y los tiempos de corte.



2.5.3. Lanza Térmica

La lanza térmica es un dispositivo formado por un tubo de hierro de diámetro y longitud determinados (Figura 2.7). El tubo de hierro está relleno con un conjunto de varillas de hierro enriquecido con magnesio, que se encargan de canalizar el flujo de oxígeno. El diámetro recomendado oscila entre 15 y 25 milímetros, no más grandes, ya que aumentaría considerablemente el flujo de oxígeno a utilizar para conseguir agujeros poco mayores.

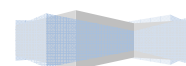
La longitud de la lanza térmica es el parámetro más determinante, ya que cuanto mayor sea la longitud del tubo menos veces hay que cambiarlo, así que en cierto modo, cuanto mayor sea el espacio de trabajo, mayor será la efectividad de la lanza térmica.



Figura.2.7 Máquina lanza térmica

El funcionamiento de la lanza calentar el extremo libre del tubo mediante un soplete o similar, en ese momento se activa el paso del oxígeno (con un caudal que oscila entre $4/7 \text{ kg/cm}^2$) que circula a través de la lanza. Con estos pasos se consigue que la punta de la lanza entre en ignición a una temperatura que ronda 2.500°C a 5000°C . Como ya se ha especificado, el factor clave para determinar la longitud del tubo es el consumo de material que produce esta ignición, que varía entre 500 y 600 mm/min .

La aplicación de la lanza es similar a la del corte radial con amoladora, no obstante, es mucho más agresiva y dañina. Puede abrir orificios con mucha más facilidad, ya que es capaz de penetrar acero y hormigón sin dificultad, y tiene unas profundidades de corte mayores. En función de la lanza térmica que se utilice en el

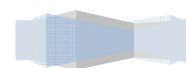


estudio se obtendrán ciertos valores de penetración, que serán los valores de referencia a la hora de evaluar la clasificación de la herramienta dentro de la norma.

2.6. ANCLAJES

La caja fuerte debe ser tomada a la estructura, de manera que no pueda ser desplazada de su posición. Como se reitera a lo largo de este documento, la funcionalidad de la caja fuerte es la de retrasar el acceso a su contenido, ya que cualquier caja fuerte puede abrirse con el tiempo suficiente, y esta ventaja se pierde en el momento que el dispositivo no se aloja en su lugar de referencia, donde puede ser asistido por los agentes de seguridad competentes.

Según la norma este requisito solo debe tenerse en cuenta si la caja fuerte no supera 100kN de peso (unos 1000 kilogramos de masa). En el supuesto que la caja exceda ese peso, el diseño final debe incluir los estudios para el correcto anclaje tal y como se describe en el **capítulo 8** de la norma **UNE-EN 1143-1:1997**.



3. DISEÑO PRELIMINAR

3.1. DISEÑO GENERAL DE LA ESTRUCTURA

3.1.1. Diseño estructural general

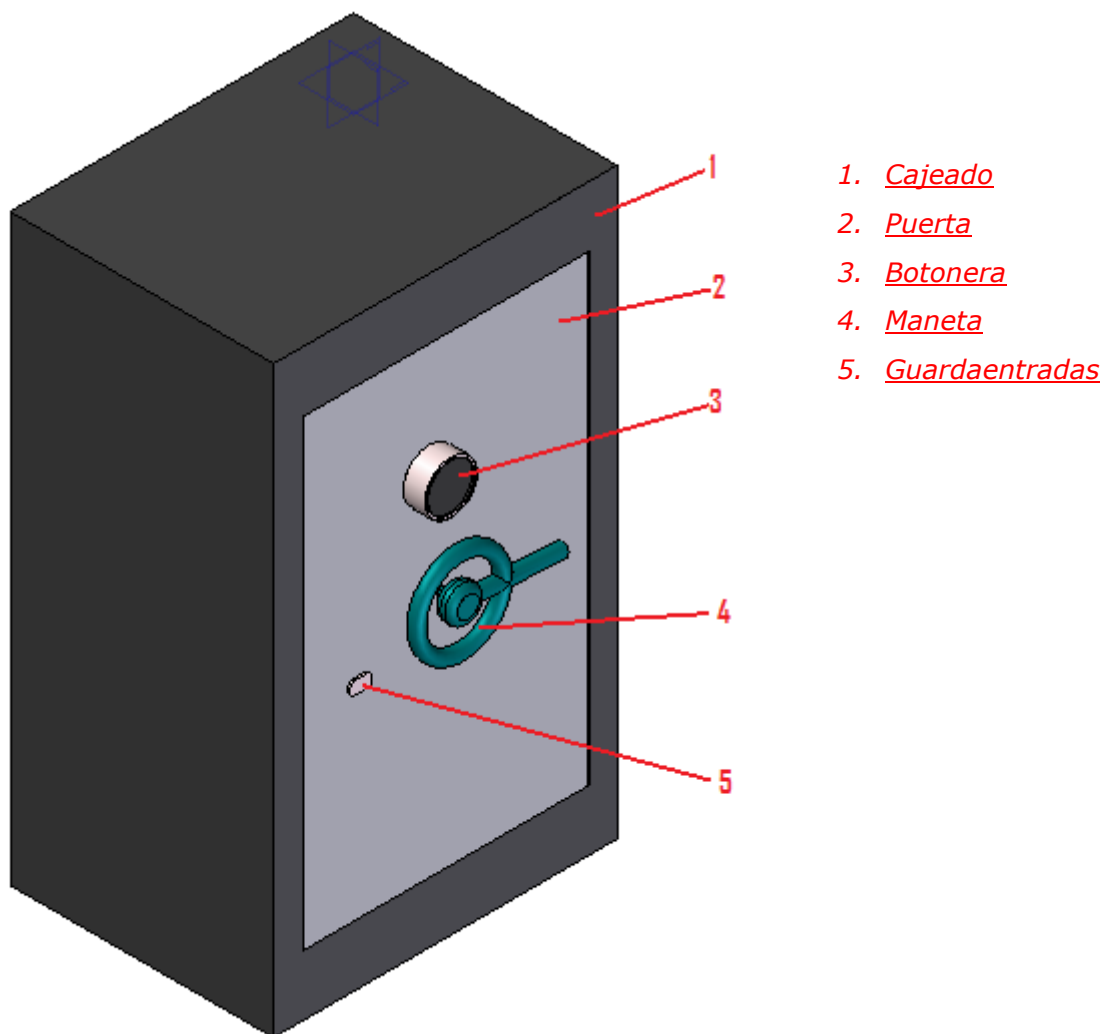
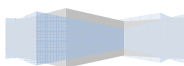


Figura 3.1 Diseño general de la estructura

Originalmente se plantea esta estructura general para la caja fuerte, estando supeditada a modificaciones a lo largo del diseño. Los dos elementos estructurales principales son el cajero exterior (Elemento 1), formado por hormigón y acero, y la puerta (Elemento 2) que incluye a parte del material de las paredes, la pestillería y los alojamientos de los accesorios.



El elemento 3 puede variar considerablemente en función de la selección de la programación electrónica que se vaya a incluir a la cerradura. Inicialmente, se establece un tipo genérico de botonera, a la espera de realizar la selección de características y proveedores.

La maneta (Elemento 4) es fundamental para activar toda la pestillería, con un giro de la misma, se debe poder recoger todo elemento de bloqueo situado en la puerta. Además, debe soportar los esfuerzos provocados por la acción del usuario.

Finalmente, se dispone de un elemento auxiliar, el guarda entradas de la llave (Elemento 5) cuya utilidad es salvaguardar el orificio dispuesto para que la llave pueda acceder a la cerradura.

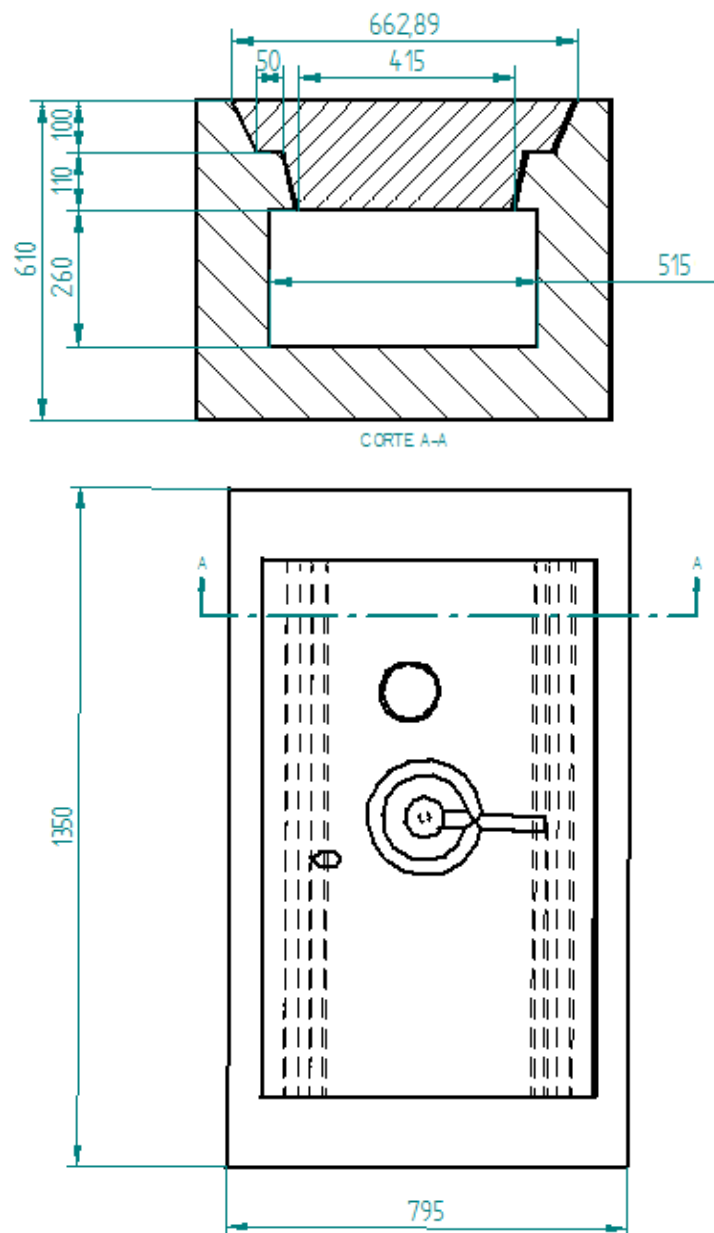
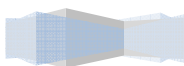



Figura 3.2 Planos acotados en milímetros



3.1.2. Selección de materiales**3.1.2.1. Acero**

Durante los últimos años, el material más utilizado para los diseños es el acero Hadfield más conocido como acero al manganeso, un acero austenítico aleado que contiene aproximadamente 1,2% de carbono y 12% de manganeso. Este acero está considerado un material de ingeniería, dada la incomparable capacidad de endurecimiento por deformación plástica, siendo utilizado en aplicaciones donde la resistencia al impacto y a la abrasión es crítica. La norma que describe y regula el acero Hadfield es la **ASTM A128**, se pueden ver los diferentes tipos y sus composiciones (consultar figura 3.3).

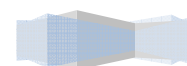


ASTM A128	Composición Química						
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si (máx)	P (máx)
A^B	1,05 - 1,35	11,0	-	-	-	1,00	0,07
B-1	0,90 - 1,05	11,5 - 14,00	-	-	-	1,00	0,07
B-2	1,50 - 1,2	11,5 - 14,00	-	-	-	1,00	0,07
B-3	1,12 - 1,28	11,5 - 14,00	-	-	-	1,00	0,07
B-4	1,20 - 1,35	11,5 - 14,00	-	-	-	1,00	0,07
C	1,05 - 1,35	11,5 - 14,00	1,5 - 2,5	-	-	1,00	0,07
D	0,70 - 1,30	11,5 - 14,00	-	-	3,0 - 4,0	1,00	0,07
E-1	0,70 - 1,30	11,5 - 14,00	-	0,9 - 1,2	-	1,00	0,07
E-2	1,05 - 1,45	11,5 - 14,00	-	1,8 - 2,1	-	1,00	0,07

Figura 3.3 Composiciones de los aceros al manganeso

Este acero se obtiene por hipertemple desde 1100°C en un medio suficientemente severo, tomando una estructura completamente austenítica (figura 3.4). La austenita es una forma de ordenamiento distinta de los átomos de hierro y carbono, tipo cúbica centrada en las caras con los átomos del carbono situados en los intersticios. La austenita como máximo puede contener un 2% de carbono, ya que para concentraciones superiores sería imposible obtener esta estructura.

Por lo tanto, se obtiene un material unifásico con estructura austenítica, con una dureza desde 180 hasta 900 Brinell. Los materiales aleados permiten que el mecanismo de endurecimiento se base en la acumulación de dislocaciones por absorción de energía, por ello las propiedades internas de tenacidad del material no se ven alteradas, evolucionando solo de manera local adquiriendo una superficie



dura. Básicamente, este acero responde de manera activa a las deformaciones en superficie, endureciéndose puntualmente en las zonas que están siendo atacadas. Por todo esto, este acero es utilizado en operaciones que requieran propiedades antibroca, debido a su resistencia metal sobre metal.

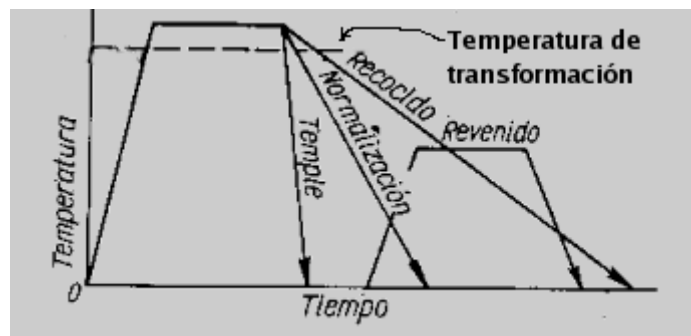
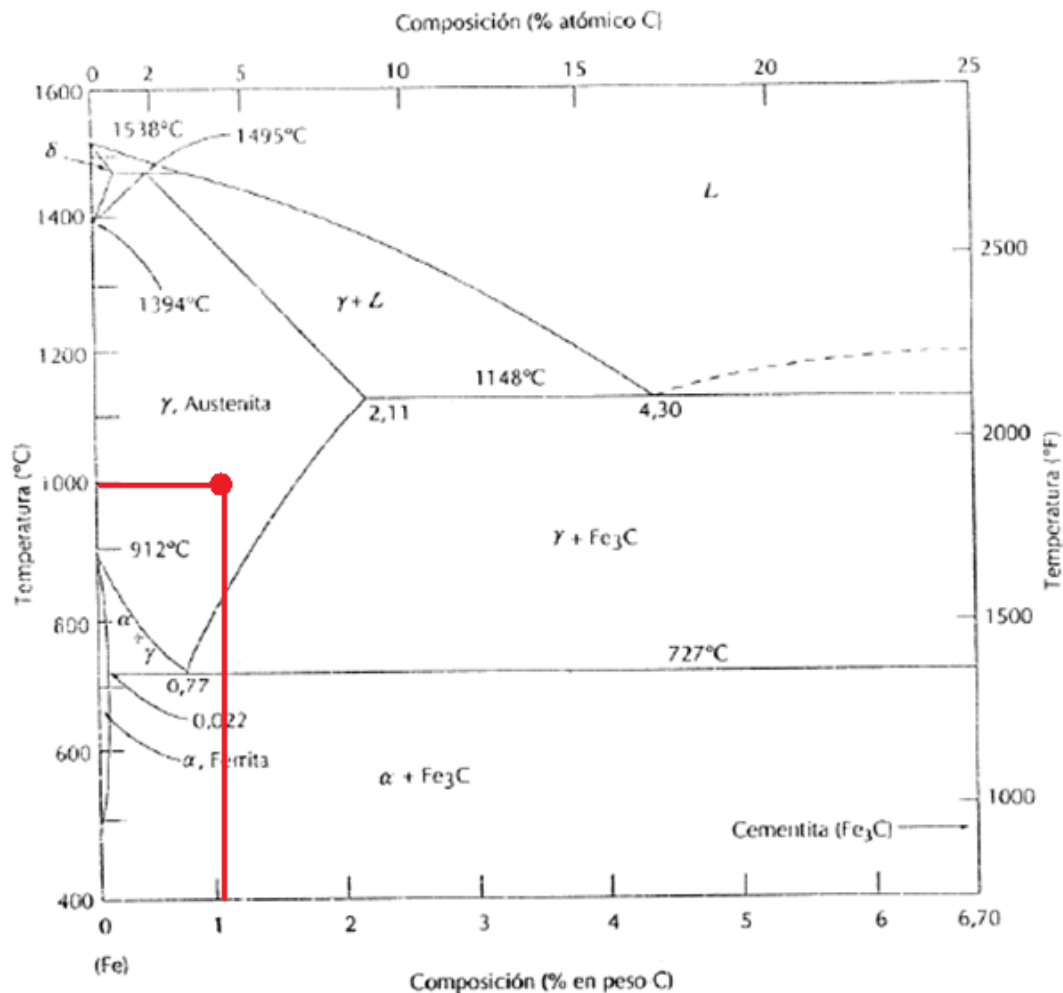
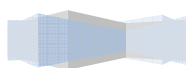


Figura 3.4 Hipertemple del acero desde 1000°C



En principio, cualquiera de las composiciones indicadas en la figura 3.3 valdría como primera aproximación, pero hay que evaluar los efectos del resto de aleantes, los posibles problemas que tiene este tipo de acero y los costes que implican la diferente selección.

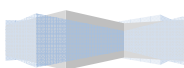
El acero Hadfield tiene ciertas restricciones:

- ✓ Es difícil de mecanizar.
- ✓ Resistencia a tracción de entre 550 y 750 MPa.
- ✓ Dureza Brinell aparente entre 180 y 900.

Esto produce que el material tenga un reducido rango de tolerancia en el mecanizado, y no vale para resistir deformaciones plásticas bajo altos niveles de tensión, aunque sigue siendo muy dúctil y maleable.

No obstante, cumple con creces las resistencias a las solicitaciones a las que se verá sometido en el proceso de perforación de la caja fuerte ya que, como se ha indicado, en tareas donde el material se deforma superficialmente, se eleva la resistencia superficial convirtiéndose en un material endurecido en superficie con estructura interna tenaz, y que además es soldable, facilitando las tareas de montaje de las planchas que se utilizarán durante el proceso de fabricación de la caja fuerte.

El único problema que puede plantear el acero es la corrosión, no obstante, este tipo de acero tiene propiedades que lo protegen de este tipo de daños.



3.1.2.2. Hormigón

Como ya se ha indicado el hormigón más utilizado dentro de las paredes y puertas de las cajas fuertes es el hormigón en masa. No obstante, tras las primeras aproximaciones realizadas en el análisis de las herramientas, se sabe que ciertos tipos de ataques comprometen seriamente la integridad del hormigón, ya que disponen de filos especializados para cerámicos, capaces de dañar el material con mucha facilidad.

Por ello, se utilizará un híbrido de hormigón armado (soportará efectos de tracción y flexión de órdenes de magnitud adecuadas) y hormigón en masa (que permite soportar esfuerzos térmicos y de retracción).

Fundamentalmente, se selecciona dentro del catálogo disponible en el mercado, muy numeroso y con gran espectro de posibilidades.

A pesar de diseñar la "armadura" de forma independiente, se han de considerar los parámetros que introduce en la selección del hormigón. El hormigón que se utilizará debe tener alta resistencia, para ello el principal componente que determina este parámetro es el tipo de grano que forma el cemento. Se utilizará un hormigón de la familia HM-50, que dispone del cemento más puro y que ofrece una resistencia aproximada de 50 MPa. La densidad aproximada que se espera de este hormigón en masa es de 2200 kg/m³.

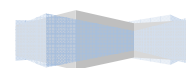
✓ Áridos

Comparando las tensiones posibles de las brocas para piedra que se ensayan en laboratorio y las tensiones de rotura de los áridos, a pesar de utilizar áridos de gran calidad, la broca penetrará sin mucha dificultad. Por lo tanto, se pueden utilizar áridos de resistencia media que no incrementen el coste de la caja fuerte (calizas duras y arenisca).

✓ Aditivos

Cualquier aditivo que se utilice en la mezcla tiene como objetivo incrementar las propiedades del material en el campo que se desee. Para este caso concreto, se desea un incremento de la resistencia al desgaste y la dureza, sin un aumento significativo del precio.

Las brocas para piedra habitualmente utilizadas en los ensayos penetran con cierta facilidad el hormigón, los aditivos poco van a modificar la utilización de este tipo de herramientas, ya que es una zona muy puntual con una relación muy grande entre tensión de corte de las brocas y tensión de rotura del hormigón.



No obstante, las tareas de taladrado como se detalla en el punto 3.1.3.1. *Taladrado* posterior a este apartado, suponen aperturas de precisión, que atacan a puntos débiles de la estructura, con intención de minimizar el tiempo y reducir los posibles daños producidos al contenido.

Una solución aplicable, es añadir aluminio en polvo como aditivo al hormigón. El aluminio, dadas sus propiedades, tienen un efecto devastador frente a los discos de corte de radial. Este material al tratar de ser cortado con discos de corte para radiales (estudio realizado en el apartado 3.1.3.2. *Corte con amoladora*) fluye, introduciéndose entre los granos del disco, y dañando seriamente las propiedades de corte (embazan el disco), lo que implica un cambio de filo y la pérdida de tiempo que ello supone.

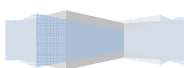
El hormigón con aditivos de aluminio es denominado *Hormigón Celular*, formado con aglomerantes de cemento y cal, éste es macizo y un buen aislante térmico dada la porosidad que lo caracteriza. Durante la reacción de fraguado del cemento, se libera hidrógeno, produciendo un efecto expansivo, esto produce un debilitamiento final del hormigón, y que se pueda mecanizar con mucha más facilidad.

Como alternativa a la inclusión de este aditivo, incluiremos mayas intermedias de tiras de aluminio, que no actúen en el fraguado del cemento y que no tengan problemas con el tamaño de grano de los áridos. De esta manera, se obliga al intruso al cambio de herramienta en más de una ocasión.

✓ **Armadura**

Realmente no se puede considerar una armadura lo que se va a incluir en la selección del hormigón, ya que su objetivo no es mejorar la resistencia del hormigón a esfuerzos tales como tracciones y compresiones, sino más bien soportar mejor los efectos de mecanizado.

Para ello se va a incluir una maya de acero de barras de 5 milímetros de espesor (medida estándar para el diámetro de las primeras brocas que atacan las paredes la caja fuerte) distribuida en cuadrados de 20 milímetros de lado a 15 milímetros del palastro de acero interior; y una maya de aluminio de barras de 2 milímetros de espesor distribuida en cuadrados de 15 milímetros de lado a 15 milímetros del palastro de acero exterior (con esto se consigue que en cuanto penetre el filo de la radial se vea dañado)



3.1.3. Muestreo y selección de herramientas de ataque

3.1.3.1. Taladrado

A lo largo de este apartado se va a analizar los siguientes puntos de importancia para determinar la clasificación de las herramientas que van a utilizarse en los ensayos, según la norma **UNE-EN 1143-1:1997**:

- Herramientas y filos disponibles en el mercado.
- Tecnología del taladrado, estudio de casos y planteamiento del problema.
- Designación de índice de herramienta

Los principales materiales a taladrar son:

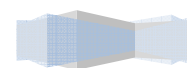
- Acero Hadfield
- Hormigón
- Elementos de la pestillería y bulones de cierre.
- Cerraduras
- Bulones de rebloqueo.

- **ACERO HADFIELD**

Este es el material que a priori implica la mayor resistencia frente a ataques con brocas. Como se acaba de analizar este acero es muy importante ya que la dureza que adquiere ante ataques es extrema (consultar apartado 3.1.2.1 Acero). Para los cálculos teóricos se estima que la resistencia a tracción de este acero ronde los 550-750MPa (se tomará el valor medio como referencia para los ensayos; 650 MPa).

El resto de materiales, se suponen despreciables frente a la acción de brocas especializadas, únicamente suponen cambios de filos, que añaden poco tiempo respecto a los cálculos teóricos.

Para una buena estimación de resultados y la posterior selección de filos para ensayo en laboratorio, se identifican y localizan proveedores de brocas de la mejor calidad. A continuación se analizan los principales filos a utilizar y la selección de mejor calidad que se encuentra en el mercado.



3.1.3.1.1. Descripción y caracterización de tipos de brocas

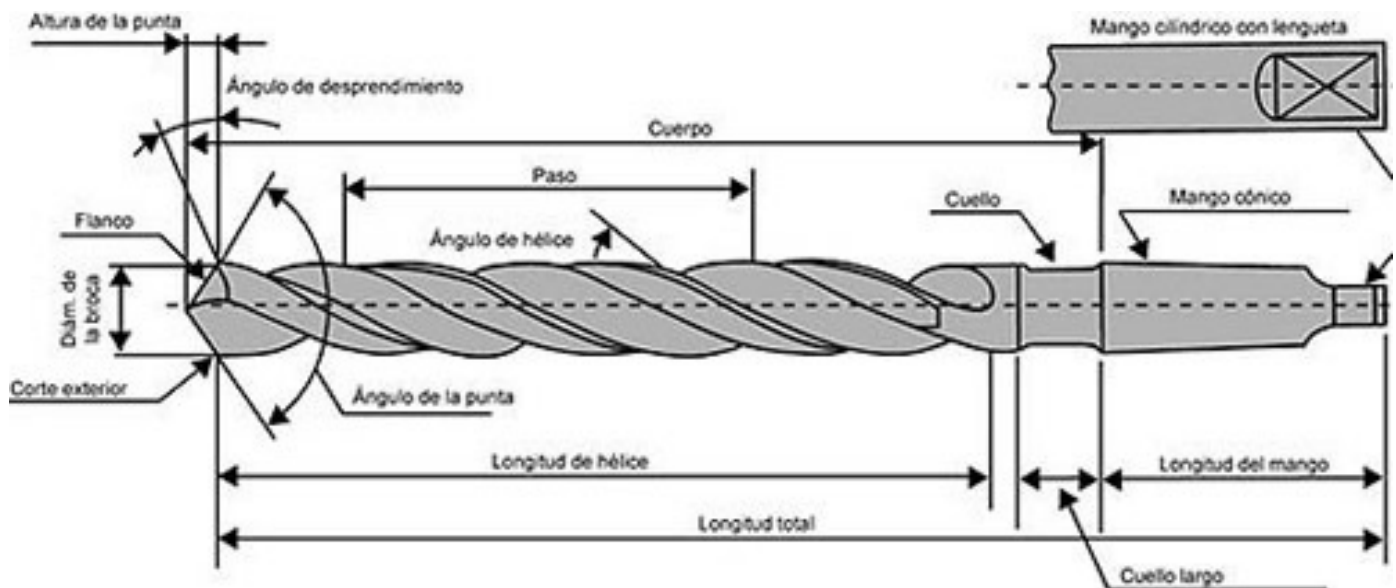


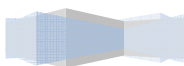
Figura 3.5 Nomenclatura y parámetros de las brocas

a. Brocas para metales

Sirven para taladrar metal y algunos otros materiales, como por ejemplo plásticos, e incluso madera cuando no se requiere especial precisión. Están hechas de acero rápido (HSS), aunque la calidad varía según la aleación, el método y calidad de fabricación. Se tratan de los principales filos utilizados para atacar puntos débiles o de vital interés para la integridad de la caja fuerte.

Existen esencialmente las siguientes opciones:

- **HSS LAMINADA:** Es la más económica de las brocas de metal. Es de uso general en metales y plásticos en los que no se requiera precisión. No es de gran duración, lo que implica que, junto con la poca tensión de corte que tienen, no supongan ninguna amenaza. No se considerará ninguno de estos filos en el estudio.
- **HSS RECTIFICADA:** Es una broca de mayor precisión, indicada para todo tipo de metales semiduros (hasta 800 MPa) incluyendo fundición, aluminio, cobre, latón, plásticos, etc. Tiene gran duración.



- *HSS TITANIO RECTIFICADA*: Están recubiertas de una aleación de titanio que permite taladrar todo tipo de metales con la máxima precisión, incluyendo materiales difíciles como el acero inoxidable. Se puede aumentar la velocidad de corte y son de extraordinaria duración. Se pueden utilizar en máquinas de gran producción pero necesitan refrigeración.
- *HSS COBALTO RECTIFICADA*: Son las brocas de máxima calidad, y están recomendadas para taladrar metales de todo tipo incluyendo los muy duros (hasta 1200MPa) y los aceros inoxidables. Tienen una especial resistencia a la temperatura, de forma que se pueden utilizar sin refrigerante y a altas velocidades de corte.

Claramente las propiedades de las brocas de cobalto rectificadas son las más agresivas y candidatas claras a estudio y ensayo.



Figura 3.6 Muestra de broca para metales

b. Brocas estándar para piedra

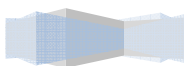
Se utilizan para taladrar paredes y materiales de obra exclusivamente (son filos especializados para piedra). No están diseñadas para metales ni para madera. Tienen una plaquita en la punta de metal duro responsable de la penetración de la herramienta. Permiten el uso con percusión.

Principalmente existen dos tipos con diferente campo de aplicación y calidades:

- *LAMINADA CON PLAQUITA DE CARBURO DE TUNGSTENO (WIDIA)*: El cuerpo es laminado y está indicada para yeso, cemento, ladrillo, uralita, piedra arenisca y piedra caliza.
- *FRESADA CON PLAQUITA DE CARBURO DE ALTO RENDIMIENTO*: El cuerpo está fresado y, en general, puede atacar cualquier tipo de piedra, incluyendo al hormigón (caso específico de diseño). Su poder de penetración y su duración es muy superior a la anterior.



Figura 3.7 Muestra de broca para piedra



c. Brocas largas para paredes

Tienen características similares a las anteriores con una calidad alta, pero con una longitud mayor. Además, el diseño está preparado para evacuar mejor la viruta arrancada.



Figura 3.8 Muestra de broca largas para piedra

Dentro de los proveedores posibles a seleccionar, se localizan las brocas de mejores prestaciones de los posibles tipos:

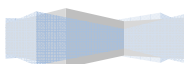
Denominación	Tipo	Campo de Aplicación	Hoja de Fabricante
Brocas Widia <i>EXTREMEcut</i>	Broca para piedra (Widia)	Materiales duros poco tenaces	Anexo C.1
Broca Cobalto <i>HSSE</i>	Broca para metal aleada (5%Co)	Aceros de alta resistencia	Anexo C.2
Broca carburo <i>K20 Prototipo Berner</i>	Broca para metal Titanio	Diseño específico para cajas fuertes	Anexo C.3

Figura 3.9 Muestreo de brocas

La máquina que se va a utilizar en los ensayos es un taladro percutor *Berner BID-S-1* (Figura 3.10). Está capacitado para actuar con percusión y alcanza las velocidades necesarias para aprovechar las brocas que se van a emplear.



Figura 3.10 Taladro percutor Berner BID-S-1

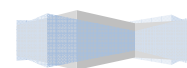


Potencia absorbida nominal	1100 W	
Potencia útil	630 W	
Revoluciones en vacío:	1ª Velocidad	2ª Velocidad
	0-900 rpm	0-3000 rpm
Revoluciones nominales:	1ª Velocidad	2ª Velocidad
	0-580 rpm	0-1900 rpm
Nº impactos con revoluciones en vacío	51000 por minuto	
Par nominal:	1ª Velocidad	2ª Velocidad
	9,6 Nm	3,2 Nm
Ø cuello husillo	43 mm	
Ø máximo de perforación	1ª Velocidad	2ª Velocidad
Hormigón	22 mm	13 mm
Ladrillo	24 mm	16 mm
Acero	16 mm	8 mm
Madera	40 mm	25 mm
Capacidad portabrocas	1,5-13 mm	

Figura 3.11 Características del taladro

Material	Parámetro	Diámetro de la Broca en mm						Refrigerante
		5	10	15	20	25	30	
Aceros	S	0.07	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	T o C
$\sigma_y \approx 600$ a 800 MPa	V	12	14	16	18	21	23	
Fundición gris	S	0.15	0.24	0.3	0.32	0.35	0.38	S
$\sigma_y \approx 180$ MPa	V	24	28	32	34	37	39	
$\sigma_y \approx 220$ MPa	V	16	18	21	24	26	27	
Latón	S	0.1	0.15	0.22	0.27	0.3	0.32	T
$\sigma_y \approx 400$ MPa	V	65	65	65	65	65	65	
Bronce	S	0.1	0.15	0.22	0.27	0.3	0.32	T o S
$\sigma_y \approx 300$ MPa	V	35	35	35	35	35	35	
Aluminio Puro	S	0.05	0.12	0.2	0.3	0.35	0.4	T o C
$\sigma_y \approx 200$ MPa	V	100	100	100	100	100	100	
Tipos de Refrigerante: T = Taladrina ; C = Aceite de corte o de refrigeración ; S = Seco								
Parámetro: S= Velocidad de Avance ; V= Velocidad de corte								

Figura 3.12 Parámetros esperados para la Broca Cobalto HSSE
En las condiciones optimas de funcionamiento



Una segunda vía de investigación, es tratar de aprovechar la debilidad de este acero a verse sometido a altas temperatura (se produce un cambio en la estructura interna de material del estado austenítico al martensítico, disminuyendo claramente la dureza característica de este acero). Para ello, se necesita un filo que soporte grandes temperaturas sin ser dañado.

3.1.3.1.2. Tecnología del taladrado y estimación de resultados

Como se indica en el *capítulo 2, apartado 2.5.1*, las fórmulas que rigen los cálculos teóricos relativos al taladrado son:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \gg [v_c] = m/min; [D] = mm; [n] = r.p.m.$$

Formula 1.1

$$a = \frac{v_a}{n} \gg [v_a] = mm/min; [n] = r.p.m.$$

Formula 1.2

$$t_t = \frac{L}{v_a} = \frac{l + 0,3D}{a \cdot n} = \frac{(l + 3D) \cdot \pi \cdot D}{a \cdot v_c \cdot 1000}$$

Formula 1.3

$l \equiv$ longitud del taladro [mm]

$D \equiv$ diametro de la broca [mm]

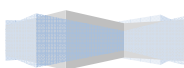
Estableciendo las siguientes condiciones de contorno, para el ensayo de acceso parcial con la probeta circular² (consultar *apartado 3.1.4: Ensayos*), y considerado las propiedades del taladro y las brocas seleccionadas, se determina el siguiente valor teórico:

$$l = 140mm$$

$$D = 125mm$$

$$t_t \approx 26min$$

² Se considera en principio la probeta circular ya que, dado que se está trabajando con una herramienta que realiza orificios circulares con proyección cilíndrica, supondrá el mínimo tiempo de acceso de las 3 probetas.



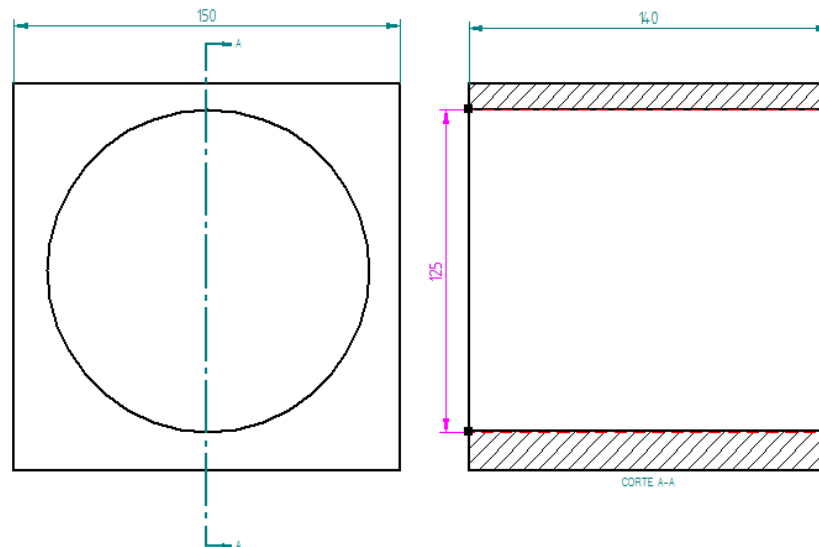


Figura 3.13 Muestra de agujero pasante realizado con broca

3.1.3.2. Corte con amoladora (Corte radial)

El tipo de corte que se va a realizar se denomina corte rectificado plano con muela tangencial (figura 3.14), empleando discos de corte para radial. Los principales materiales a cortar son:

- Acero Hadfield
- Hormigón (a destacar la inclusión de aluminio)

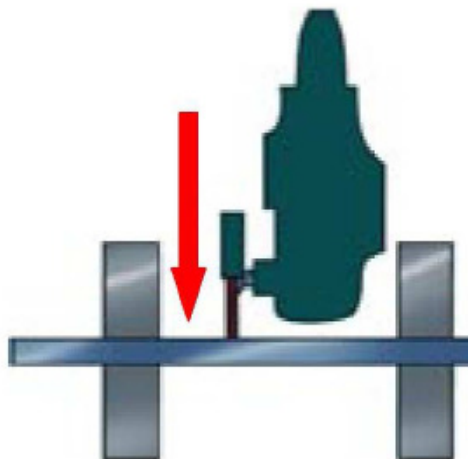
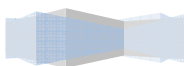


Figura 3.14 Tipo de corte con amoladora



3.1.3.2.1. Descripción y caracterización de discos y herramientas

La amoladora a utilizar en los ensayos, es el modelo Berner BAG 230-1 CLBB BRAKEsystem de 2400W (Figura 3.15).

Las especificaciones de la misma permiten realizar los diferentes ensayos a los que se va a someter a la probeta. Se busca que la máquina tenga un tamaño reducido que pueda considerarse apto para poder desplazarse al lugar de ataque de la caja fuerte.



Figura 3.15 Amoladora angular Berner BAG 230-1 CLBB BRAKEsystem (2400W)

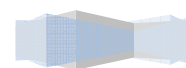
Potencia absorbida nominal	2400
Potencia útil	1600W
Rosca del Husillo	M14
Ø máx. disco amoladora	230 mm
Revoluciones nominales	650 r.p.m.

Figura 3.16 Características de la amoladora

Se han de preseleccionar discos que, en principio, sean capaces de penetrar en la superficie de los palastros de acero y atacar al hormigón. Para ello, se consideran los parámetros definidos en la figura 3.16:

a. Diámetro disco: El diámetro del disco determina la duración del mismo, ya que cuando mayor sea, de más material dispondrá y más tiempo dura en desgastarse.

b. Diámetro husillo: El diámetro máximo del husillo que se puede emplear no es determinante en el estudio, ya que para unificar resultados, se utiliza la misma máquina, variando únicamente el filo.



s. Espesor disco: El espesor determina el ancho de la ranura de corte. Es un factor determinante a la hora de salvaguardar el filo frente a problemas de embozamiento³.

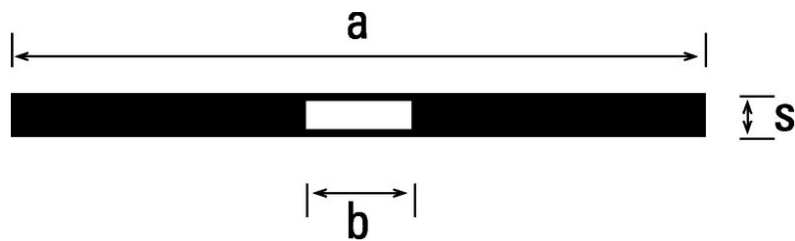


Figura 3.17 Parámetros de los discos de radial

Se utilizan los siguientes discos en los ensayos:

a. Discos de corte para metal:

Son los discos estándar de corte. Los utilizados en el ensayo están compuestos por un abrasivo de óxido de aluminio tratado a alta temperatura, obteniendo un buen filo, tenaz y con buena duración. El cuerpo está reforzado con malla de fibra para que el corte tangencial sea estable y no se desvíe de la trayectoria fijada.

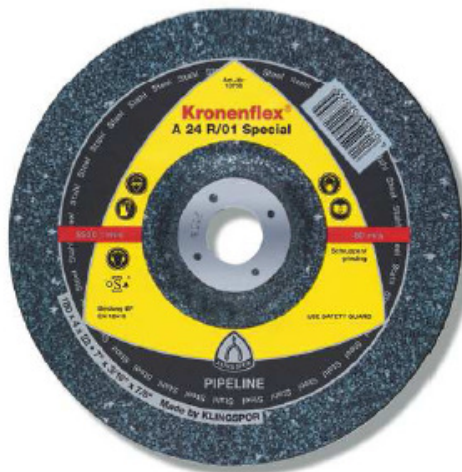
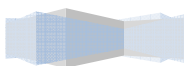


Figura 3.18 Disco de corte para metal

³ Embozamiento/Embozar: Efecto producido en los discos de radial, en el que el material al ser cortado fluye a través de los granos abrasivos, asentándose e inutilizando las propiedades cortantes. Una vez producido este efecto, es recomendable cambiar el filo ya que pierde enormemente sus propiedades.



b. Discos de corte especiales para aluminio:

Este tipo de disco supone un punto más de ataque para la caja, ya que está diseñado también de un óxido de aluminio, pero preparado para evitar embozamiento y trabajar a pleno rendimiento, con la duración y tenacidad del disco estándar de corte para metal.



Figura 3.19 Disco de corte especial para aluminio

c. Discos de corte diamantados

Son los discos más agresivos, gracias a los diamantes industriales de alta calidad y de los segmentos pres afilados. Están compuestos por un alma de acero de alta calidad con polvo de metal blanco, que confieren al disco gran rapidez de corte, estabilidad y resistencia (figura 3.20)

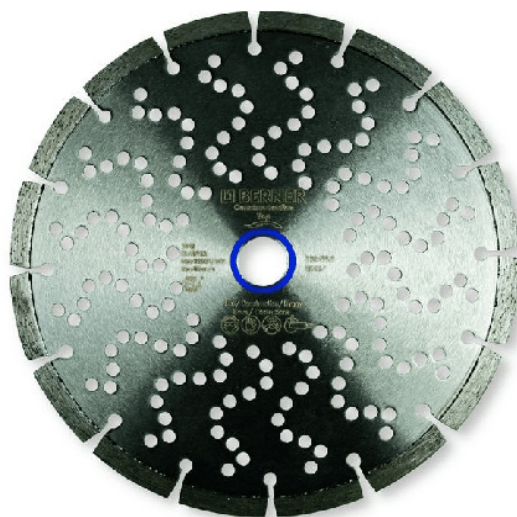
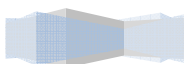


Figura 3.20 Disco de corte diamantado



3.1.3.2.2. Descripción y caracterización de discos y herramientas

Como se indica en el capítulo 2 apartado 2.5.2 de este proyecto, las fórmulas que rigen los cálculos teóricos relativos al corte con amoladora son:

$$t_p = \frac{E}{V_m} [\text{min}]$$

Formula 2.1

$$v_m = a_1 \cdot n [\text{mm/min}]$$

Formula 2.2

$$E = L \cdot n_c = L \cdot \frac{B \cdot s}{a_1 \cdot p}$$

Formula 2.3

Estableciendo las siguientes condiciones de contorno, para el ensayo de acceso completo con la probeta circular⁴ (consultar apartado 3.1.4: Ensayos), y considerado las propiedades del taladro y las brocas seleccionadas, se determina el siguiente valor teórico:

$$B = 1$$

$$s = 2\text{mm}$$

$$p = 5\text{mm}$$

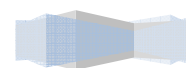
$$n = 12000 \text{ vueltas/min}$$

$$a_1 = 0,003\text{mm}$$

$$P_{\text{circulo}} = 448\text{mm}$$

$$t_c \approx 1660s \approx 28\text{min}$$

⁴ Al igual que el ensayo por taladrado, se realiza el ensayo para la probeta circular, ya que supone el menor perímetro a mecanizar, y por tanto el menor tiempo a invertir.



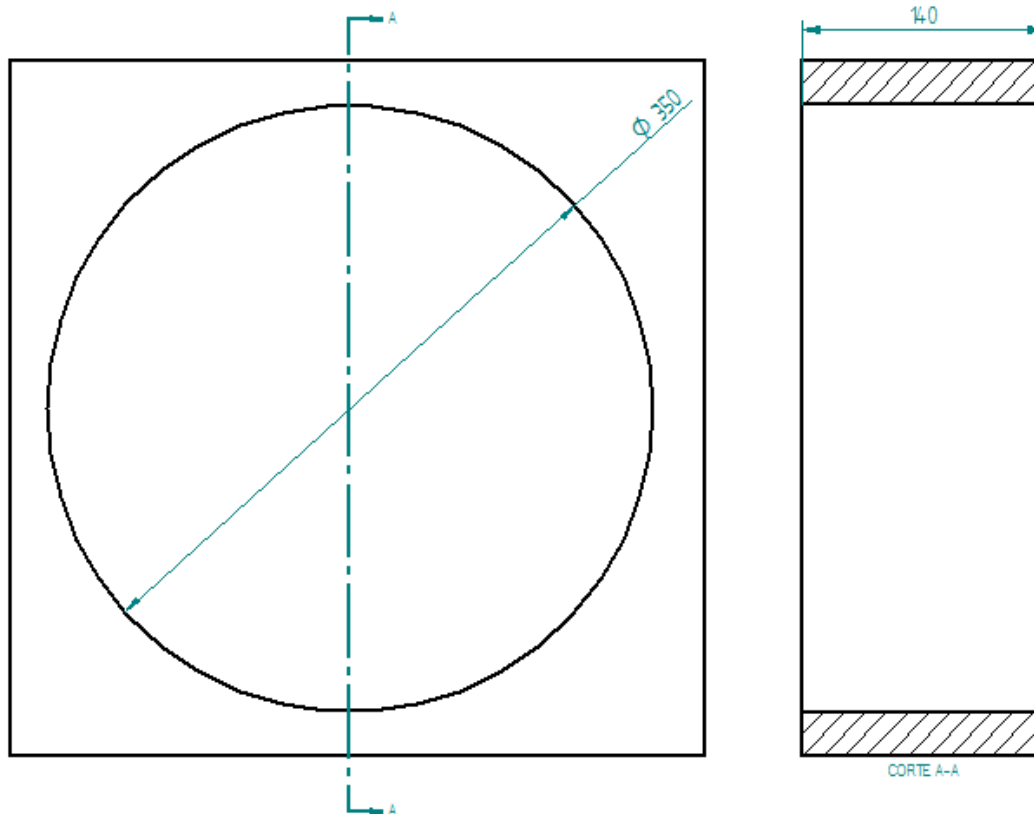


Figura 3.21 Muestra de agujero pasante realizado amoladora

3.1.3.3. Lanza térmica

La lanza térmica pretende penetrar rápidamente las probetas gracias al fundido de los materiales que componen las paredes. Hay que considerar que este tipo de corte no distingue entre el material y el dispositivo que ataca, sino que simplemente funde todo lo que se encuentra en su recorrido. Para este caso concreto, los dispositivos que van a ser atacados son:

- Acero Hadfield
- Hormigón
- Elementos de la pestillería y bulones de cierre.

Al contrario que con el resto de métodos, no se puede estimar teóricamente un dato más o menos fiable del efecto de la lanza térmica sobre la probeta.

Por ello, se realizan pruebas iniciales sobre paneles independientes (figura 3.22) para evaluar un valor estimado para el resultado sobre la caja fuerte:

$$t_{LT} \approx 19 \text{ min}$$

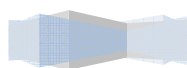




Figura 3.22 Ensayo de lanza térmica sobre puerta

3.1.4. Ensayos

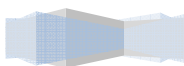
La norma **UNE-EN 1143-1:1997** en su apartado 7 exige que, se realicen ciertos ensayos para verificar la viabilidad estructural del diseño final.

Los ensayos consisten en tomar el tiempo que se invierte en realizar ciertos orificios en las paredes de las probetas, que deben ser capaces de permitir el acceso de los siguientes calibres:

- Acceso parcial por el área del bastidor o la puerta de la probeta de ensayo
 - a. Circunferencia con 125 mm de diámetro
 - b. Cuadrado con 112 mm de lado y bordes y esquinas redondeadas con $r=5\text{mm}$
 - c. Un rectángulo de 100mm x 125mm de lado; bordes y esquinas redondeados con $r=5\text{mm}$

Tolerancias de 0^{+2}_{-0}mm

- Acceso completo por el bastidor o la puerta
 - a. Circunferencia de 350mm de diámetro
 - b. Cuadrado con 112mm de lado y bordes y esquinas redondeadas con $r=10\text{mm}$



- c. Un rectángulo de 300mm x 330mm de longitud por cada lado; bordes y esquinas redondeados con $r=10\text{mm}$

Tolerancias de 0^{+3}_{-0}mm

Además, para el acceso completo se consideran los casos en que el ataque permita que se retire la puerta, o que sea abierta en una amplitud de al menos 300mm, y al menos el 80% de la altura interior del volumen de almacenamiento.

Los ensayos que van a realizarse son:

- a. *Acceso parcial para herramienta de taladrado:* Se utilizará el taladro seleccionado en el *apartado 3.1.3.1: Taladrado*, con las diferentes brocas seleccionadas con diámetros adecuados hasta conseguir el acceso de los calibres.
- b. *Acceso completo para amoladora:* Se utilizará la amoladora (*apartado 3.1.3.2*) con discos de diferentes composiciones, diámetros y espesores.
- c. *Acceso completo para lanza térmica:* Se empleará la lanza térmica (*apartado 3.1.3.3*) dada en diferentes condiciones de ensayo y parámetros.

3.1.4.1. Acceso parcial para herramienta de taladrado

Procedimiento para realizar en ensayo:

- Se establecen puntos de acceso a la probeta en las paredes laterales y en la puerta (Figura 3.23).
- Se disponen brocas de los modelos preseleccionados en cantidades suficientes para poder realizar cambios de filos con tiempos inoperativos mínimos.
- Se dispone un cronómetro y una persona encargada de la medición de tiempos.
- Se establecen 10 ensayos por modelo de filo.

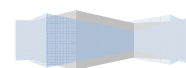
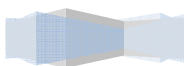




Figura 3.23 Ensayo de taladrado sobre probeta

El análisis de resultado de los ensayos está reflejado en el *anexo D.1*, donde se puede revisar el tiempo y los cambios de filo de herramienta que se han utilizado para cada prueba. Como ayuda muy descriptiva, se adjunta el gráfico de resultado de taladrado figura 3.24.



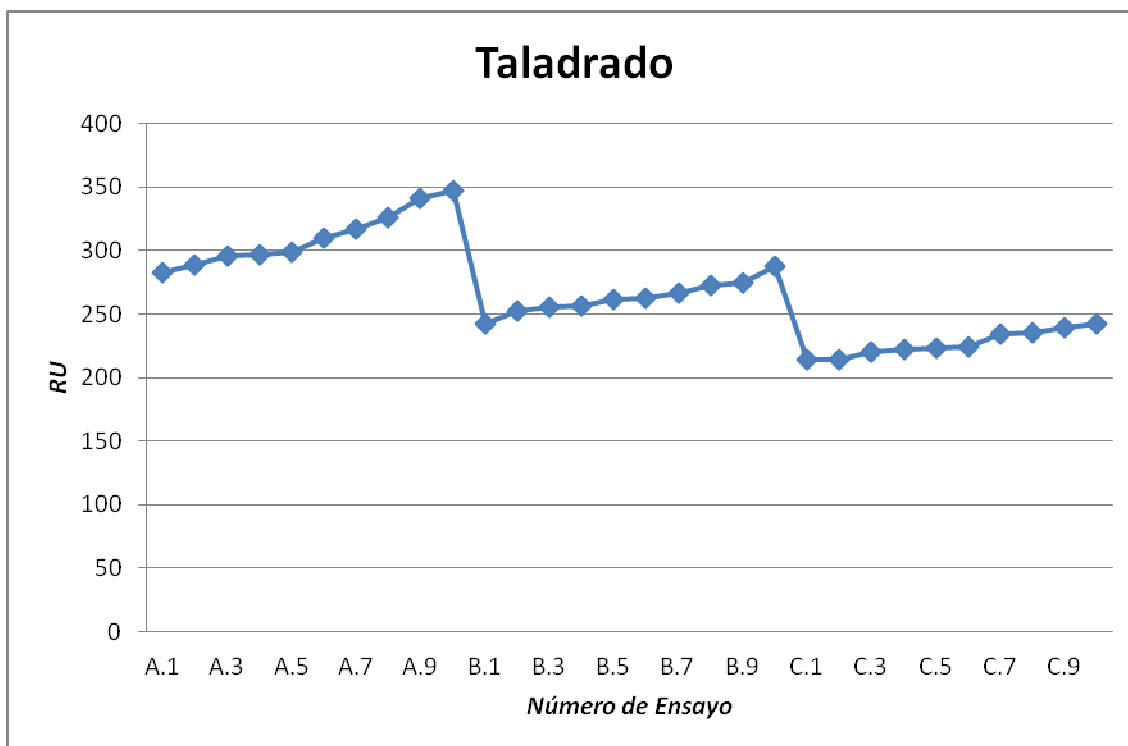


Figura 3.24 Ensayos de taladrado sobre probeta
(RU: Unidades de Resistencia, Página 12)

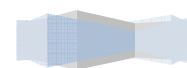
Las primeras conclusiones apuntan que dentro de los filos utilizados, el prototipo de diseño especial para orificios en cajas fuertes (Ensayos C.1 a C.10) es el más agresivo. Implica los valores mínimos de unidades de resistencia de la caja fuerte alcanzando su valor límite en $Ru \geq 214$. Supone un coeficiente de seguridad de aproximadamente 1,34 frente a lo requerido por la norma (que ya incluye sus propios márgenes de seguridad)

$$Ru_{\text{AccesoParcial}} = 180 \ll 214 = Ru_{\text{caja}}^{\text{mín}} \Rightarrow \text{Coeficiente de Seguridad} = 1,34$$

Se concluye pues, que para este ensayo la caja cumple notablemente con los requerimientos normativos, frente al ataque más habitual y de mayor riesgo de acceso parcial a la que puede verse sometida.

Otros datos importantes a considerar es la influencia considerable del tipo de filo a utilizar con el mismo tipo de herramienta, teniendo en cuenta que para la penetración en hormigón se utiliza una broca de "Widia" común para todos los ensayos (con las mayores propiedades cortantes del catálogo existente). En función del filo que se utilice, se pueden alcanzar coeficientes de seguridad superiores a 2,1 frente a lo exigido. Esto es causa principal del daño que producen los materiales seleccionados de la caja a los filos empleados en los ensayos.

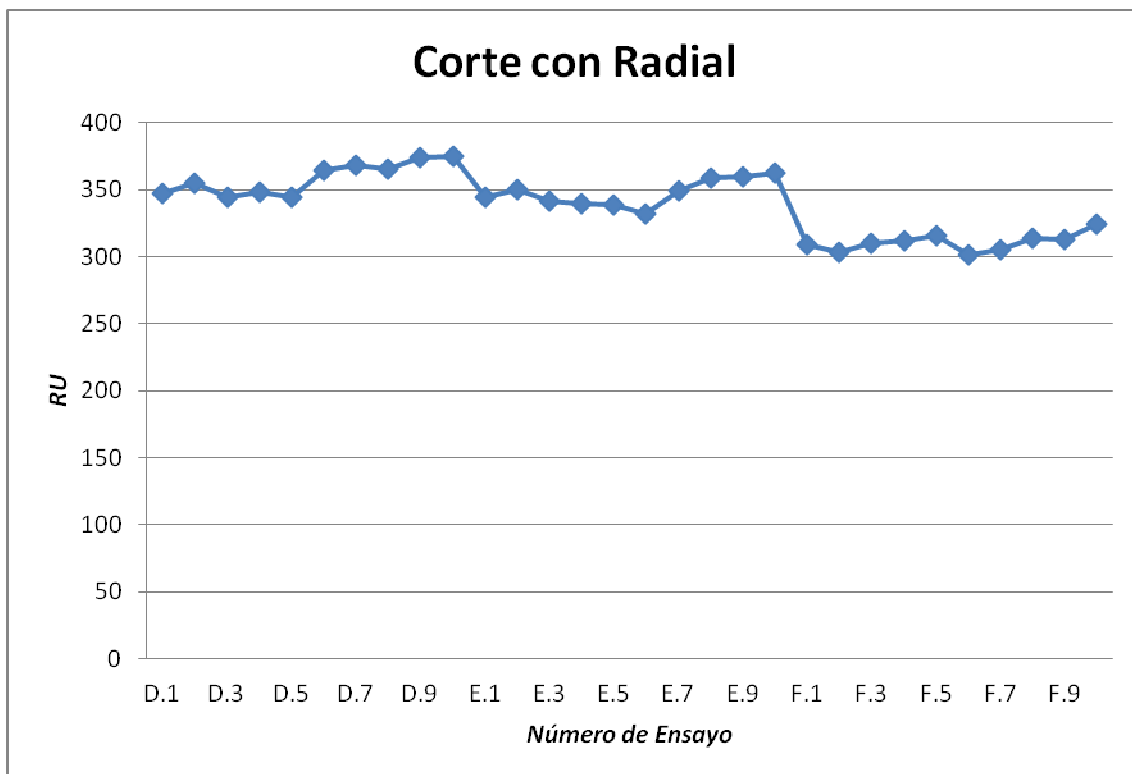
$$Ru_{\text{caja}}^{\text{max}} \cong 314 \Rightarrow \text{Coeficiente de Seguridad} = 2,17$$



3.1.4.2. Acceso completo para amoladora

Procedimiento para realizar en ensayo:

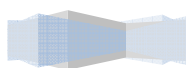
- Se establecen puntos de acceso a la probeta en las paredes laterales y en la puerta. Marcando las líneas a recorrer para realizar el corte necesario para que entre la probeta de ensayos de acceso completo.
- Se dispone la amoladora preseleccionada con diferentes y suficientes discos de corte para hacer frente al ataque.
- Se emplean los métodos de medición de tiempos ya indicados.



*Figura 3.25 Ensayos de corte radial sobre probeta
(RU: Unidades de Resistencia, Página 12)*

La primera conclusión que deriva de este estudio es que, gracias a la selección del aluminio como parte de la armadura del hormigón, los discos de corte estándar son inutilizados con relativa facilidad, suponiendo un incremento muy elevado de la cantidad de cambios de filos producidos. Se desechan los resultados obtenidos de las pruebas con estos discos, ya que suponían tiempos muy elevados en comparación con los mostrados en el *anexo D.2*.

Considerando el resto de filos seleccionados, la caja fuerte pasa las pruebas de acceso completo con amoladora sin ningún problema. El punto mínimo de resistencia lo alcanza para el ensayo *F.6* obteniendo un valor $Ru \geq 301$.



$$Ru_{\text{AccesoCompleto}} = 270 \ll 301 = Ru_{\text{Caja}}^{\text{min}} \Rightarrow \text{Coeficiente de Seguridad} = 1,11$$

Este ensayo muestra la capacidad que tiene la caja a hacer frente a un ataque genérico con amoladora radial. Se puede ver como para las diferentes condiciones de ensayo, los valores de resistencia se mantienen acotados en un rango pequeño, tomando un valor medio de $Ru = 339$ demostrando la solidez del diseño frente a diversos ataques.

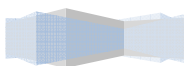
En ocasiones se han llegado a utilizar algún tipo de herramienta auxiliar, principalmente elementos de limpieza para eliminar material retirado y mazas para desprender trozos de hormigón. El índice de resistencia que aportan estas herramientas es de órdenes de magnitud mucho menores que las radiales combinadas con los discos, por lo que se considera despreciable, siempre a favor de la seguridad de la caja.

Cabe destacar que el empleo de radiales industriales de gran potencia puede reducir drásticamente este valor de resistencia, llegando incluso a inutilizar la caja en pocos minutos. No obstante, el empleo de estas cajas fuertes está homologado para custodia de efectivo en lugares donde el uso de este tipo de maquinaria es inoperativo (por espacio, alimentación, equipos auxiliares...).

3.1.4.3. Acceso completo para lanza térmica

Procedimiento para realizar en ensayo:

- Se establecen puntos de acceso a la probeta en las paredes laterales y en la puerta. Se demarca la superficie a atacar con un espray de pintura (únicamente sirve como referencia inicial).
- Se dispone la lanza térmica preseleccionada con suficientes tubos como para poder realizar remplazos con tiempos operativos mínimos.
- Se emplean los métodos de medición de tiempos ya indicados.



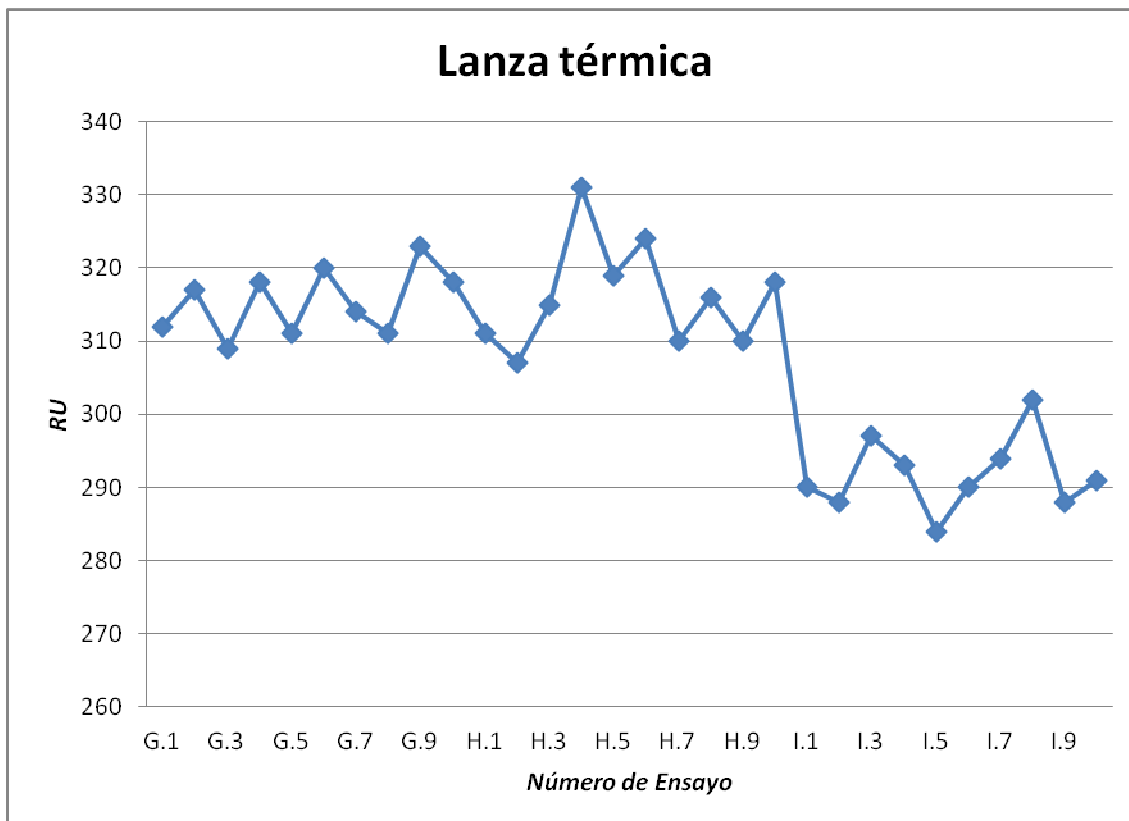


Figura 3.26 Ensayos de lanza térmica sobre probeta
(RU: Unidades de Resistencia, Página 12)

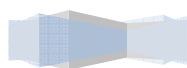
Los resultados arrojados tras en el ensayo reflejan que la caja fuerte cumple con los requisitos estándar que solicita la normativa.

El mínimo punto de resistencia es alcanzado para el ensayo *I.5* obteniendo un valor de $Ru \geq 284$.

$$Ru_{AccesoCompleto} = 270 \ll 284 = Ru_{Caja}^{min} \Rightarrow \text{Coeficiente de Seguridad} = 1,05$$

Como se puede comprobar en el *anexo D.3*, el tiempo invertido para abrir el espacio suficiente para que entre la probeta es mucho menor que el estimado en el apartado 3.1.3.3. La causa de este desfase entre los tiempos es la diferente condición de ensayo, ya que el tiempo alcanzado final, se da en las peores condiciones posibles de ataque:

$$t_{ensayo}^{min} = 13,9min < 19min = t_{LT}$$



3.1.4.4. **Primeras conclusiones**

En este apartado se ha analizado la resistencia general de la caja, sometiendo a ensayos los materiales que se han preseleccionado para conformar la estructura de la caja.

A la vista de los resultados, se puede concluir que se ha realizado una selección correcta tanto del tipo de acero como del hormigón, además de las inclusiones de aditivos y selección de componentes innovadores. La caja es operativa desde el punto de vista resistivo y puede ser comercializada garantizando unos estándares de seguridad y funcionamientos superiores a los exigidos por la norma.

Tras pasar las pruebas correctamente, se procede a diseñar las partes móviles de la misma, tanto el mecanismo que regula el sistema de pestillería como las bisagras que realizan el movimiento de la puerta.

3.2. **DISEÑO MECANISMO DE PESTILLERIA**

3.2.1. **Modelo de mecanismo**

La pestillería es el conjunto de elementos móviles, situados en la parte interior de la puerta, que interactuando con accesorios externos (tales como manetas, cerraduras y dispositivos de bloqueo) pueden abrir la caja fuerte.

A lo largo de este apartado, se va a analizar la composición de eslabones que forman la cadena cinemática y que desplazamientos se producen en los mismos.

El espacio disponible habilitado para contener el mecanismo es el indicado en la figura 3.27. Está protegido con una chapa de 3 milímetros, cuya única función es la de salvaguardar la pestillería de posibles elementos que, al colocarse dentro de la caja, pudieran entorpecer los movimientos de la misma y bloquear la caja.

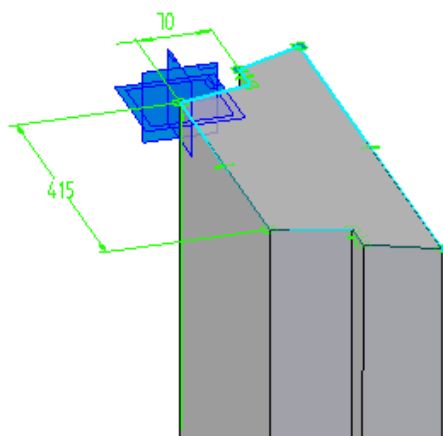
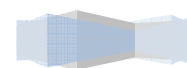


Figura.3.27 Detalle 3D del alojamiento de la pestillería en la puerta (Cotas en mm)



El material seleccionado para componer todas las piezas interiores, va a ser un hierro estándar, ya que la única característica que se puede exigir es que sea capaz de aguantar esfuerzos muy pequeños para el rango de aplicación de hierros y aceros. Solo hay que considerar un acero de calidad para los elementos críticos que pueden verse afectados por fuerzas de mayor módulo, la maneta exterior y los bulones de bloqueo.

A continuación (figura 3.28) se puede ver un plano general de la parte interior de la puerta, con su correspondiente mecanismo.

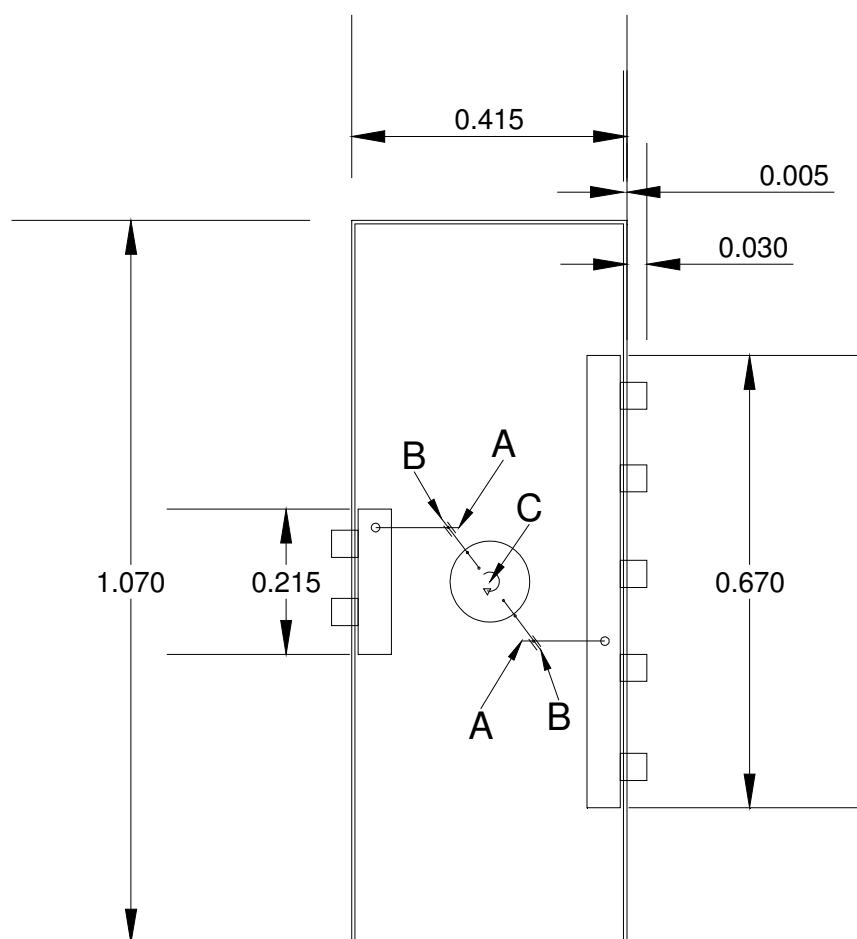
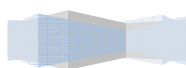


Figura.3.28 Muestra general del mecanismo de la puerta (cotas en m)



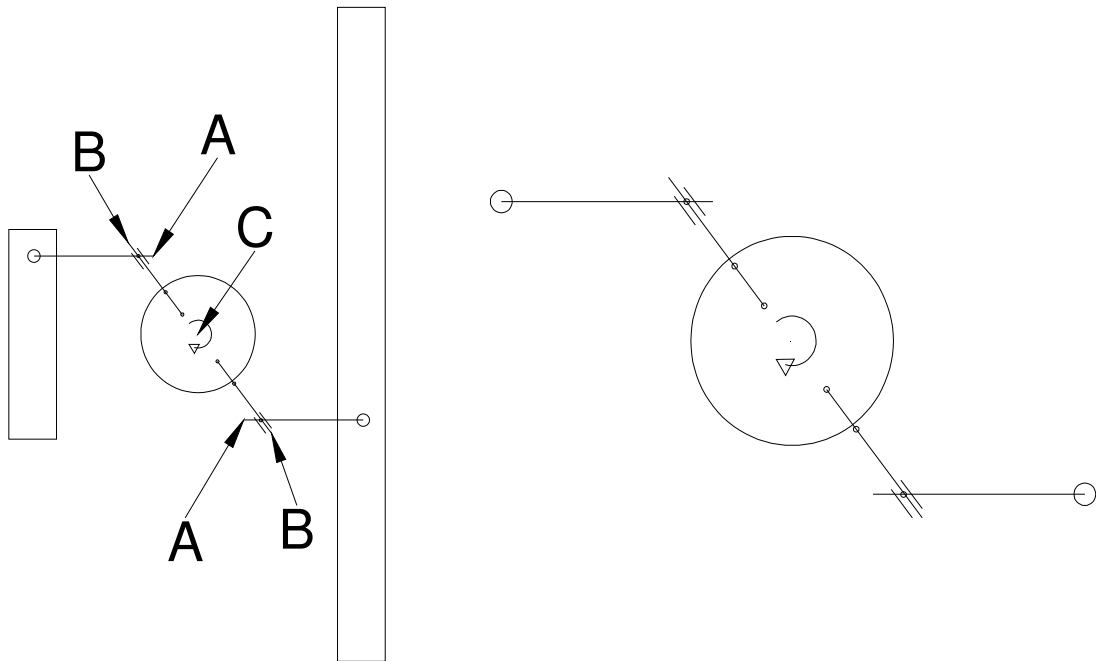


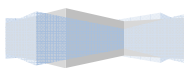
Figura.3.29 Detalle del mecanismo interior

Los elementos destacados de la pestillería son:

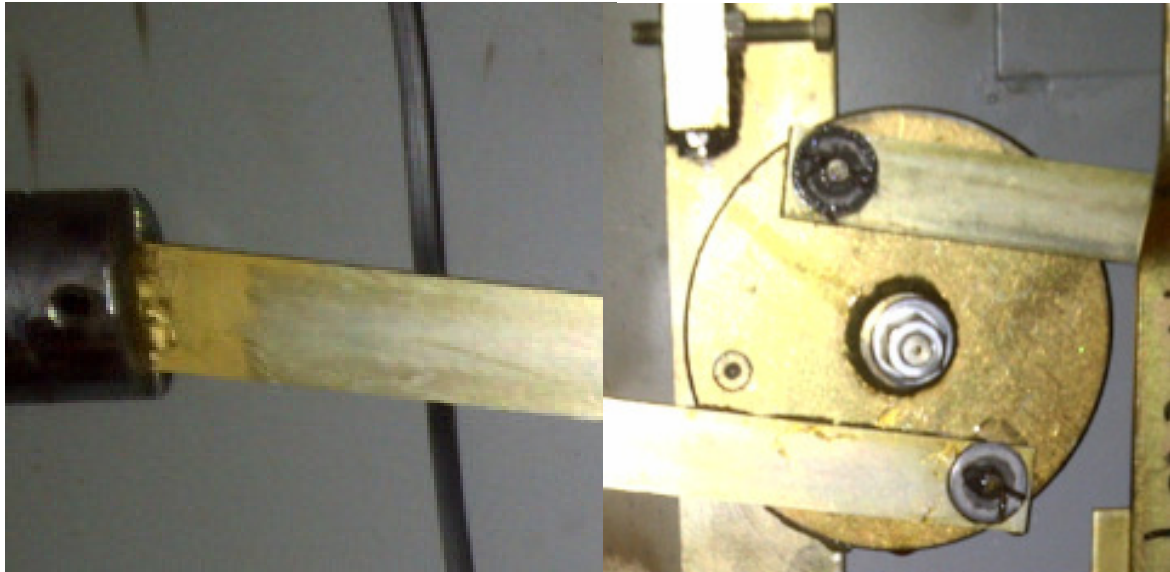
- A. Barras solidarias con los pestillos: Son las encargadas de transmitir el movimiento rectilíneo que produce la apertura/cierre de la puerta. Como se puede ver en la figura anterior, los bulones de cierre se diseñan para que entren 3 centímetros en el marco, por lo que esta es la distancia de desplazamiento. En la figura 3.30 se puede ver una muestra de unión soldada entre una barra del mecanismo y un bulón.
- B. Barras con deslizadera interior: Están acopladas a la biela circular en uno de sus extremos, con un punto fijo intermedio unido a la puerta, consiguiendo de esta manera un movimiento oscilatorio limitado en el extremo opuesto, donde se sitúa una deslizadera unida a las barras A.
- C. Leva circular: Es solidaria al eje de la maneta exterior, siendo el elemento central de movimiento del mecanismo.

Como se puede apreciar se establece un mecanismo muy sencillo, con pocos elementos que puedan suponer un incremento en pesos y costes. Al dejar mucho espacio entre los mecanismos, se facilita la inclusión de las cerraduras y elementos de rebloqueo.

Se establecen pestillos a ambos lados de la puerta como método de seguridad frente al posible ataque a las bisagras que puedan descolgar la puerta con facilidad.



Mientras los pestillos estén en posición de cerrado, la puerta se mantendrá firmemente sujeta independiente del estado de las bisagras.



Figuras 3.30 Muestra de unión entre mecanismo y bulones. Ejemplo de biela solidaria a la maneta de apertura.

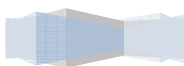
3.2.2. Diseño estructural de la maneta

La maneta es el elemento de la pestillería que está expuesto al exterior de la caja., siendo el dispositivo encargado de activar el movimiento del mecanismo, retirando o colocando los bulones de bloqueo de la puerta (ver apartado 3.2.1).

Mediante un movimiento giratorio, actúa sobre la cadena cinemática, que traduce este giro en un desplazamiento lineal a lo largo de los límites de los elementos de cierre.

Las condiciones de uso que determinan el diseño de la maneta son:

- Resistencia a los esfuerzos generados por el usuario.
- Capacidad de transmitir desde el exterior al interior movimiento de manera cómoda y sin resistencias.
- Ergonomía y estética



3.2.2.1. Diseño estructural de la maneta

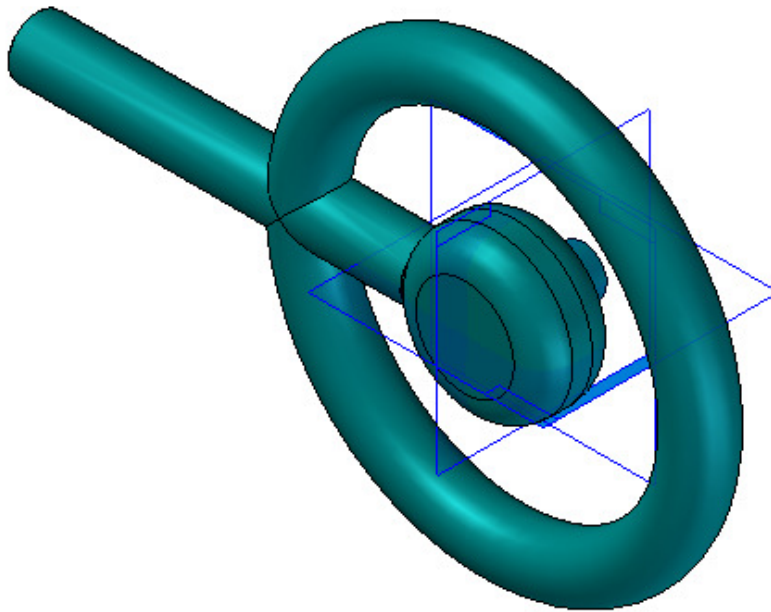


Figura.3.31 Pre diseño Maneta

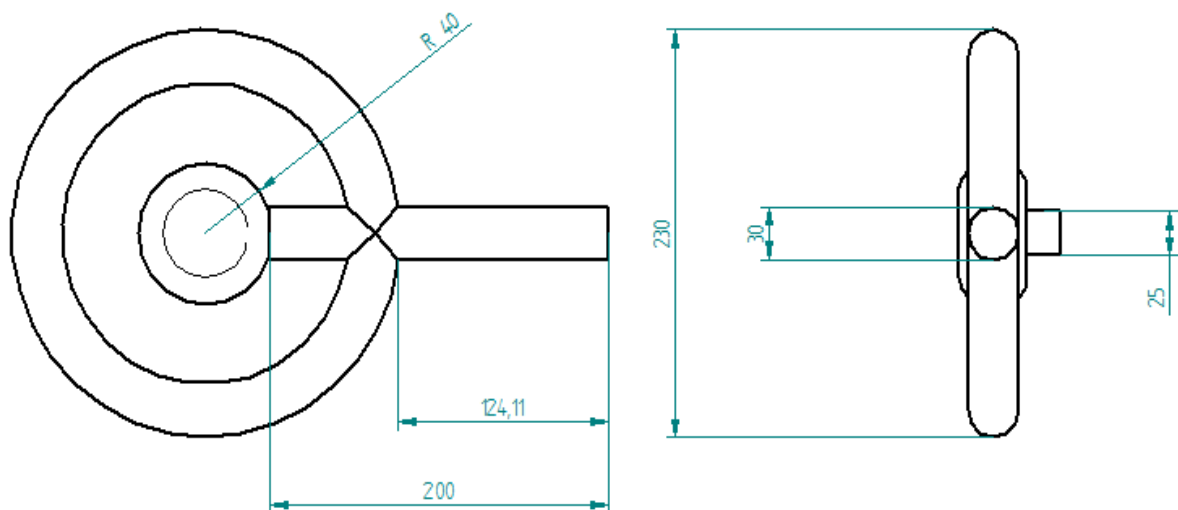
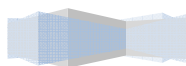


Figura.3.32 Pre diseño Maneta



La maneta se pre diseña de esta manera con la finalidad de poder soportar los esfuerzos flectores y cortantes que produce la fuerza generada por el usuario; y resistir los torsos derivados de la resistencia interna del mecanismo en combinación con la fuerza del usuario.

Para calcular si el material es capaz de soportar lo comentado se utilizan los principios de resistencia de materiales. El proceso consiste en realizar modelos simplificados de la estructura, por un lado la barra de agarre y por otro lado el centro circular (tanto la corona circular de 115 milímetros de radio exterior como el centro circular de 40 milímetros de radio) y comparar los esfuerzos generados por la acción del usuario con los máximos que puede soportar el material.

Las propiedades genéricas del acero, utilizado para realizar la maneta son:

- Densidad: $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
- Tensión de rotura: $\sigma_{adm} = 210 \text{ Mpa}$
- Coeficiente de Poisson: 0,3

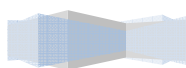
3.2.2.2. Maneta de agarre

Debe estar diseñada para soportar los esfuerzos provocados por la acción del usuario al tratar de girar el eje que actúa sobre el mecanismo.

La fuerza aplicada se puede considerar estática, por lo que no se consideran efectos dinámicos sobre el material. El módulo de la misma es muy difícil de estimar ya que depende enormemente del usuario, por ello se establece un valor aproximado de 1KN, equivalente al valor máximo que puede soportar una cerradura normalizada de buena calidad (de esta manera, se aúnan criterios de selección por fuerzas aplicadas en los dos principales elementos de actuación del usuario).

Para comprobar que el dimensionamiento es correcto o si es necesaria la modificación de alguno de sus parámetros se analiza mediante el programa Abaqus el siguiente modelo:

- Se modeliza la barra como una viga en voladizo empotrada en su extremo.
- La carga, para maximizar los esfuerzos derivados de los flectores, se sitúa como una carga puntual en el extremo libre.
- Se considera el acero descrito en el punto 3.1.2.1.



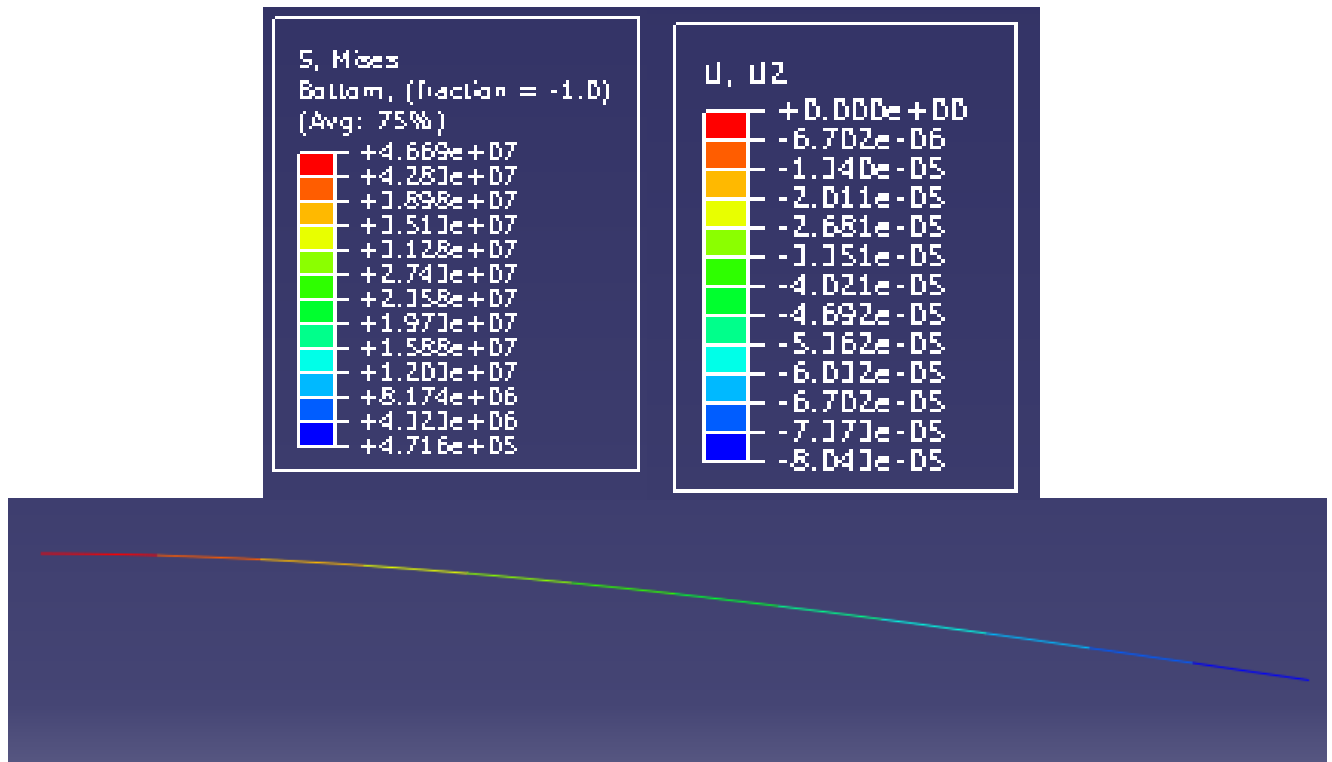


Figura 3.33 Resultados del dimensionamiento de la maneta de agarre

Los resultados indican, como era de esperar, que los mayores esfuerzos se producen en la zona del empotramiento, no obstante no llega a alcanzar los valores de límite elástico del acero, y la flecha generada en el extremo libre, es suficientemente pequeña como para asimilar que la maneta no se deforma.

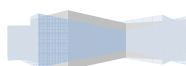
$$\sigma_{adm} = 210 \text{ MPa} \gg 40 \text{ MPa} = \sigma_{maxima}$$

$$flecha_{max} = 0,6 \times 10^{-5} \text{ m} \approx 0 \text{ (Despreciable)}$$

3.2.2.3. Centro Circular

Para el cálculo del centro circular, se somete a un esfuerzo torsor derivado de la fuerza aplicada. Para calcularlo aplicamos lo siguiente:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{aplicada} = 1 \text{ KN} \\ \text{Brazo del par} = 200 \text{ mm} \\ T = 1 \text{ KN} \times 0,2 \text{ m} = 0,2 \text{ KNm} \end{array} \right\} \quad \text{Formula 3.1}$$



$$I_o = \frac{\pi \times D^4}{32} = 4,201 \times 10^{-6} m^4$$

Perfil circular ; $D = 80mm$

Formula 3.2

$$\tau_{max} = \frac{T \times R}{I_o} = \frac{0,2KNm \times 0,04m}{4,201 \times 10^{-6} m^4} = 1,904 MPa$$

Formula 3.3

$$\tau_{max} = 1,904 MPa$$

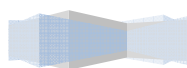
Se puede concluir que los esfuerzos tangenciales generados en la sección circular son demasiado pequeños como para poder dañar el material.

Con estos cálculos se determina que la maneta es óptima para la función para la que es diseñada. La corona circular que se ha establecido no sería necesaria, no obstante, y quedándose del lado de la seguridad, se va a dejar colocada para mejorar las funciones de la caja y con intenciones ergonómicas (el usuario puede utilizar tanto la maneta como la corona para girar el eje).

3.2.3. DIMENSIONAMIENTO DE BULONES

Los bulones de bloqueo son los elementos de perfil circular, alojados en la pestillería, que se encargan de bloquear el movimiento de la puerta. Como ya se ha indicado, su desplazamiento con trayectoria recta, esta generada por el movimiento circular de la maneta, y la funcionalidad es quedar colocados en los alojamientos habilitados en el cajón de la caja.

En el diseño inicial no se establece un número exacto de bulones, puesto que esta decisión depende del material, perfil y distribución de los mismos. A continuación se detallan los cálculos realizados para determinar este elemento de cierre.



3.3.1.1. Selección del perfil y modelización de resultados

El perfil que se selecciona es circular con radio 20 milímetros y compuesto del acero seleccionado, dados estos dos parámetros, se determinará la cantidad de bulones a situar en el marco de la puerta.

Las propiedades del acero que se utiliza para el diseño, igual que el utilizado en la maneta son:

- Densidad: $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
- Tensión de rotura: $\sigma_{adm} = 210 \text{ MPa}$
- Coeficiente de Poisson: 0,3

Para el correcto dimensionamiento se debe considerar una fuerza de referencia a la que se someterá la caja fuerte. Se estimará como valor de referencia la fuerza que puede ejercer una palanca sobre el marco de la puerta, con ese valor se evaluará el esfuerzo al que se somete al material y si es capaz de soportarlo:

Ley de la Palanca:

Formula 4.1

$$F_{aplicada} = \frac{F_{usuario}}{Brazo_{interior}} \times Brazo_{exterior}$$

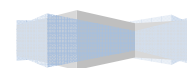
Se considera que la palanca que se utiliza, tiene el punto de apoyo en el marco de la puerta, penetrando muy poco a través del mismo y manteniendo 1 metro de distancia hasta el punto de aplicación de la fuerza

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{usuario} = 100 \text{ KN} \\ Brazo_{interior} \approx 0,005 \text{ m} \\ Brazo_{exterior} = 1 \text{ m} \end{array} \right\}$$

$$F_{aplicada} = \frac{100 \times 10^3 \text{ N}}{0,005 \text{ m}} \times 1 \text{ m} = 20 \times 10^3 \text{ KN}$$

Esta fuerza, se ha distribuir por todos los bulones, siendo vital que ninguno se someta a un esfuerzo que provoque que alcance la tensión máxima admisible.

Para dar cierto coeficiente de seguridad a los cálculos realizados para los bulones, se va a estimar que todos los bulones están sometidos a la una fuerza proporcional a la cantidad de los mismos distribuidos a lo largo de todo el marco de la puerta, además, se considera que toda la fuerza genera únicamente esfuerzos flectores, ya que los axiles se pueden despreciar puesto que el bulón en posición de cerrado tiene cierta holgura que lo permite desplazarse de manera axial y los cortantes son



de órdenes de magnitud suficiente mente pequeños como para considerarlos despreciables.

Ante la actuación de una palanca, los bulones mas sometidos son los pertenecientes a la zona opuesta a las bisagras de la puerta. El momento flector en ese punto de la puerta es resultado de la fuerza aplicada calculada anteriormente y la distancia del punto de aplicación de la fuerza (considerado justo en el borde exterior del marco de la puerta) al centro de gravedad el bulón (geométricamente el centro del círculo que, al margen del radio que finalmente se seleccione, siempre estará situado en el mismo punto). De acuerdo la figura 3.34, los puntos más sometidos a esfuerzos son los más alejados del centro de gravedad (geométricamente coincide con el centro del perfil).

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{aplicada} = 20 \times 10^3 \text{ KN} \\ \text{Distancia } P_{\text{exterior}} \text{ a } P_{\text{central}} = 0,175 \text{ m} \\ M_{\text{aplicado por bulón}} = \frac{20 \times 10^3 \text{ KN} \cdot 0,175 \text{ m}}{n_{\text{bulones}}} = \frac{3,5 \times 10^3}{n_{\text{bulones}}} \text{ KNm} \end{array} \right\} \quad \text{Formula 4.2}$$

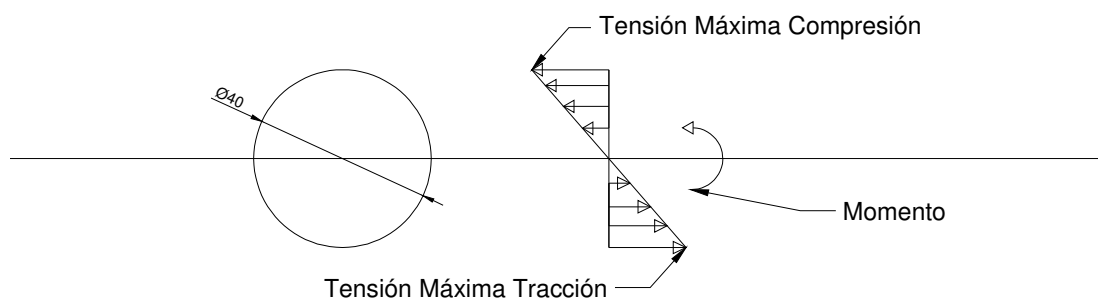
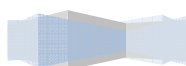


Figura.3.35 Perfil de tensiones en la sección circular del bulón

Con la siguiente formula de teoría de resistencia de materiales, se puede calcular la tensión ejercida en cualquiera de los puntos de la sección del bulón que se selecciona; en la que b es el la distancia hasta el centro de gravedad del punto analizado (para este caso es igual que el radio del perfil), I es el momento de inercia de la sección y M el momento soportado planteado anteriormente:

$$\sigma = \frac{M \cdot b}{I} \quad \text{Formula 4.3}$$



$$I_{\text{circulo}} = \frac{\pi \cdot R^4}{4}$$

Formula 4.4

$$\sigma_{adm} = 210MPa \rightarrow \text{Coeficiente de seguridad } 2 \rightarrow \sigma_{adm} = 105Mpa$$

$$\sigma_{adm} > \frac{M \cdot R}{\frac{\pi \cdot R^4}{4}} = \frac{14 \times 10^3}{n_{\text{bulones}} \cdot \pi \cdot R^3} \rightarrow n_{\text{bulones}} > \frac{14 \times 10^3}{\sigma_{adm} \cdot \pi \cdot R^3} = 5,3$$

Formula 4.5

Se concluye que para las condiciones de diseño, con el coeficiente de seguridad aplicado, se deben colocar 6 bulones de perfil circular de radio 20 milímetros de radio para soportar los esfuerzos estimados como suficientes para considerar la caja resistente.

3.3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE CERRADURAS

Las cerraduras están reguladas mediante la norma **UNE-EN 1300:2005**, en ella se especifica el tipo y características que se deben usar para diversos grados de seguridad en cajas fuertes.

Existen diversos fabricantes que disponen de una oferta muy interesante de cerraduras diseñadas específicamente para cajas fuertes. Para el caso concreto de la caja fuerte de grado IV se van a instalar una cerradura mecánica y una electrónica de combinación (con apertura retardada y bloqueo horario)

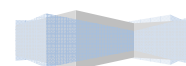
3.3.1. Cerradura mecánica

Se selecciona un fabricante que ofrezca calidad y buen precio, para ello, lo mejor es revisar el panorama nacional y seleccionar el equipo específico que cumpla con los requisitos de diseño impuestos por la norma.

El fabricante seleccionado es Talleres Aga S.A. dado su extenso catálogo de materiales de cerrajería para el uso industrial, que concretamente para las cajas fuertes de grado IV disponen de una cerradura que cumple con creces los requisitos impuestos: **"Cerradura Aga 0246 EN1300 A/VDS 1"**

Las características que aporta el fabricante son:

- Cerradura de clase A
- Número mínimo de combinaciones: 25000/(80000)



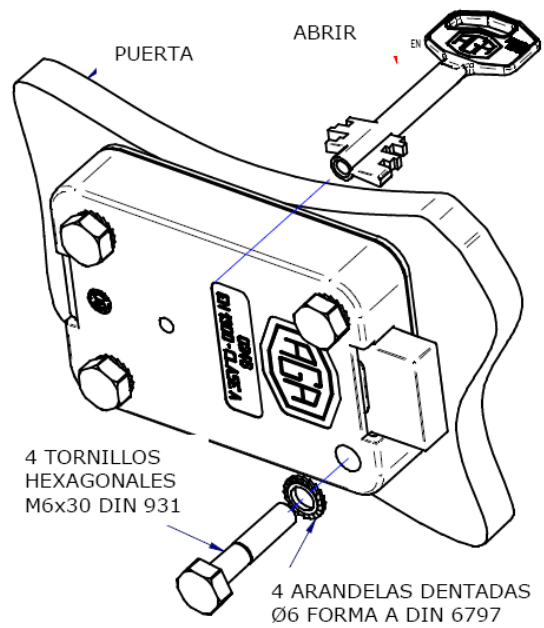


Figura.3.36 Características del montaje de la cerradura

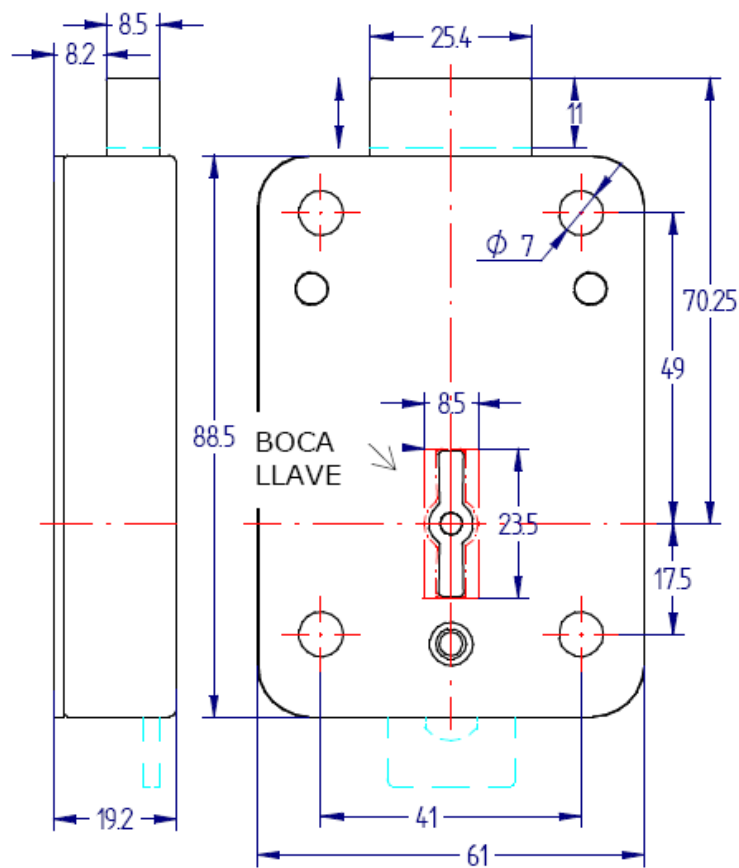
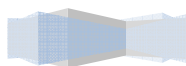


Figura.3.37 Descripción y dimensiones de la cerradura mecánica (cotas en mm)



3.3.2. Cerradura electrónica con retardo y bloqueo

La normativa exige que los elementos de custodio de efectivo deban tener un dispositivo de bloqueo horario y un retardo de apertura:

- *Bloqueo de horario:* Este mecanismo prohíbe la apertura de la cerradura en unos horarios establecidos, principalmente es utilizado en oficinas bancarias en las horas de cierre, para que nadie pueda forzar al usuario en horas sin afluencia de público a abrir la caja.
- *Retardo de apertura:* Esta acción del dispositivo está diseñada para que nunca se pueda abrir inmediatamente la caja, de manera que ante atracos, siempre se disponga de un tiempo de reacción por los cuerpos de seguridad del estado.

Al igual que la cerradura mecánica, se selecciona dentro del catálogo disponible una cerradura que cumpla con las condiciones de cerradura electrónica y con los requisitos de mínimos costes.

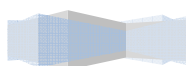
El fabricante seleccionado es Sargent&Greenleaf , ya que es uno de los referentes internacionales de diseño y venta de cerraduras electrónicas para cajas fuertes. Para las cajas de grado IV, disponen de modelos que incluyen control de claves, tiempo de retardo y bloqueo horario, concretamente, para este diseño se selecciona el dispositivo: "**Cerradura y botonera SG-6125**"

Como se ha comentado anteriormente las características que aporta el fabricante son:

- Cerradura de clase A
- Número mínimo de combinaciones: $10^6=1.000.000$
- Retardo electrónico regulable: Entre 1 y 99 minutos
- Bloqueo horario regulable



Figura.3.38 Cerradura y botonera SG-6125



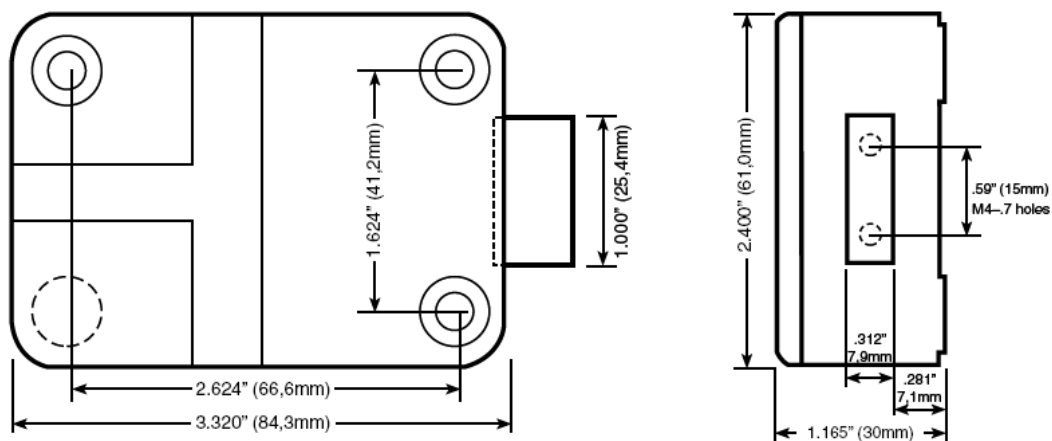


Figura.3.39 Descripción y dimensiones de la cerradura electrónica

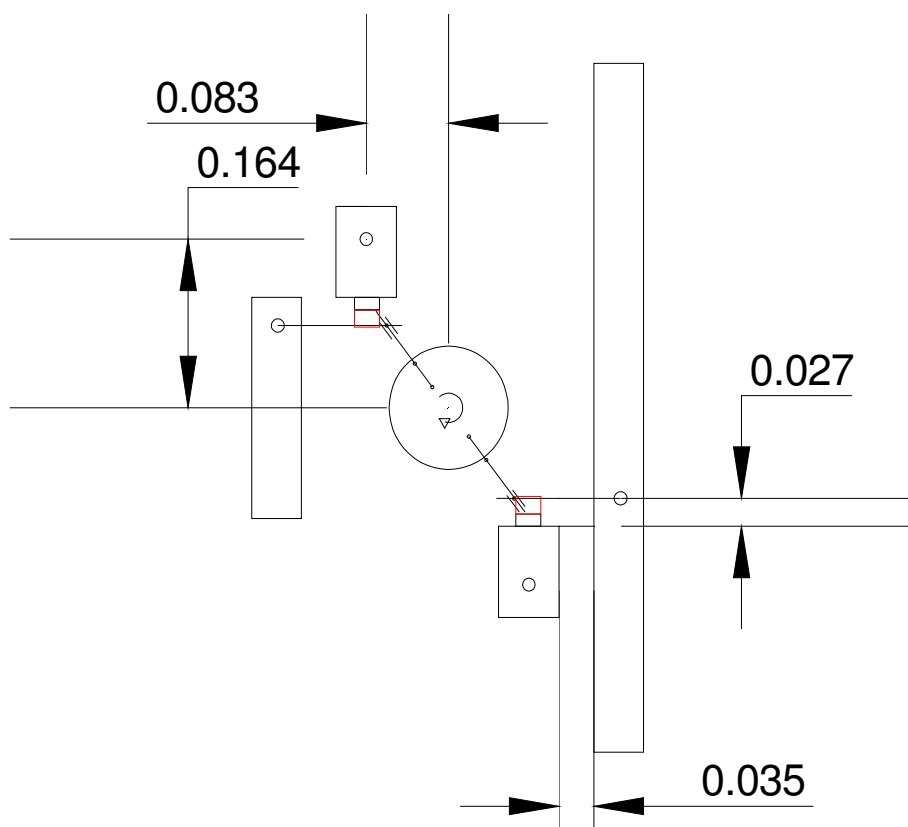
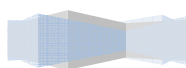


Figura.3.40 Localización de las cerraduras (cotas en m)



3.4. SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE DELADORES DE SEGURIDAD

Como ya se indico en el apartado 2.2 *Definiciones*, los dispositivos de rebloqueo incluyen sistemas de bloqueo y detección ante los intentos de robo.

En este apartado se van a seleccionar donde se colocaran, el tipo de dispositivo de activación y el material y forma que tendrán.

3.4.1. ANALISIS DE PUNTOS DÉBILES

El sistema de rebloqueo se compone de un cristal delator que sea en encargado de activar el dispositivo cuando se produzca un ataque; y los bulones de rebloqueo que ante esta situación bloquen la caja. Para ver donde se debe colocar el dispositivo, se analizan donde son los objetivos principales de intervención a la caja.

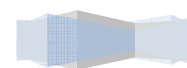
Los principales puntos débiles de la pestillería son:

- Salidas de los pestillos en las cerraduras: Atacando directamente a estos puntos se pueden anular las cerraduras, ya que con una herramienta adecuada se pueden destruir los pestillos y anular el bloqueo.
- Barras del mecanismo solidarias con los bulones: Si se accede a ellas se pueden forzar las piezas que contienen los bulones.
- Cerraduras: De manera similar al ataque a los pestillos de la cerradura, se puede intervenir sobre la misma cerradura, con la diferencia que este tipo de ataque busca destrozar por completo el corazón de la cerradura (es fácil identificar su localización ya que la entrada de la llave denota su posición).

3.4.2. PANELES DE CRISTAL

Los paneles de cristal se colocan de manera estratégica en puntos débiles susceptibles a ataques con herramientas, principalmente los elementos que pueden habilitar la apertura del mecanismo de cierre con una intervención de precisión (como son los ataques de precisión con taladros).

La única función del cristal es mantener en posición de abierto los elementos de rebloqueo mediante sistemas de sujeción (con algún tipo de tensor), y en el momento de la intrusión, se rompe y los libera cerrando la caja sin posibilidad de abrir desde el exterior.



El cristal se va a colocar de manera que abarque todo el mecanismo, limitado verticalmente por las localizaciones de ambas cerraduras y horizontalmente por las barras que contienen los bulones. Considerando las medidas que se pueden ver en las figuras 3.28 y 3.40, las dimensiones serán (0,35 x 0,35) metros con 5 mm de espesor, situando el centro geométrico del panel en el punto de giro de la biela central del mecanismo.

Para diseñar el panel, se utilizará un cristal templado cuyos bordes, tanto los exteriores como los habilitados para los tornillos de sujeción, estén recubiertos de silicona, con el objetivo de dar cierta tolerancia al montaje y evitar vibraciones que pudieran dañar el material a largo plazo. El motivo de selección de este tipo de cristal es la capacidad de soportar golpes (efecto derivado de los portazos que pueden darse debido al peso de la puerta) y la forma en que se rompe tras sufrir un ataque (se rompe en mucho pedazos, dejando libre cualquier anclaje que pudiera sujetar).

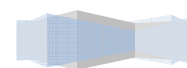
3.4.3. BULONES DE REBLOQUEO

La función de rebloqueo del mecanismo que se ha diseñado, pretende anular ciertos eslabones de la cadena cinemática del mecanismo añadiendo ciertos bulones extras que no sean gobernados por elementos móviles pertenecientes a esta. Por ello, se establecen elementos de resistencia y prestaciones variadas a los bulones de cierre originales, dada su diversa utilización.

El mecanismo que se va a instalar es de la figura 3.41, que consta de las siguientes partes:

1. *Bulón de bloqueo*: Encargado de bloquear el movimiento del pestillo.
2. *Muelle*: Se mantiene comprimido mientras los tensores estén correctamente posicionados y sujetos al cristal de rebloqueo. Cuando se libere la fuerza que lo mantiene sujeto, se alargará posicionando el bulón en la posición de cierre.
3. *Carcasa*: Mantiene unido todo el dispositivo, y sirve como elemento de unión con la parte interior de la puerta mediante tornillos.

El sistema de rebloqueo se va a situar en ambos lados del cristal a una distancia de 0,1 metros, con movimiento relativo lineal a los bulones de cierre. Cuando el cristal delator libere el dispositivo, bloqueará el movimiento de los pestillos principales imposibilitando la apertura de la puerta mediante métodos de precisión.



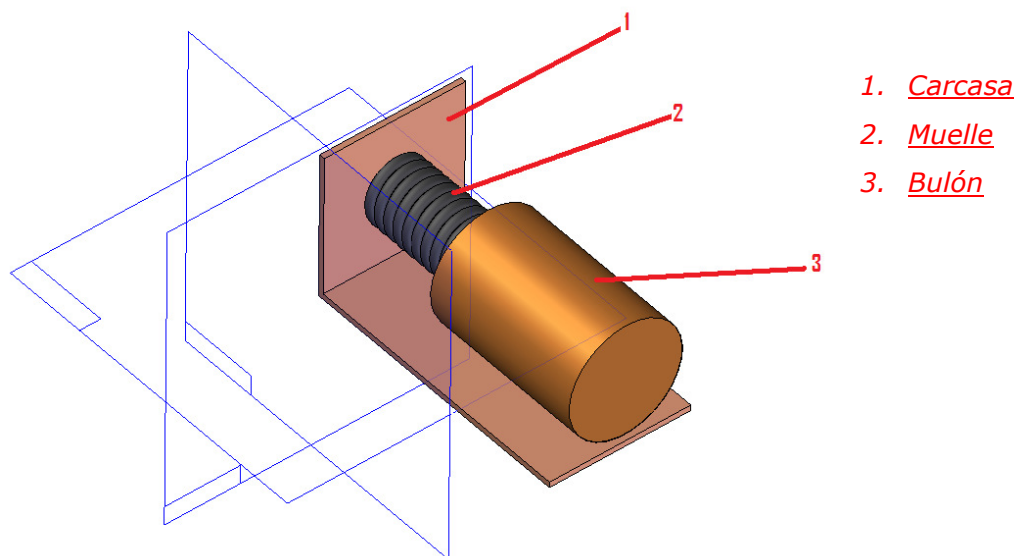


Figura.3.41 Detalle 3D del elemento de rebloqueo

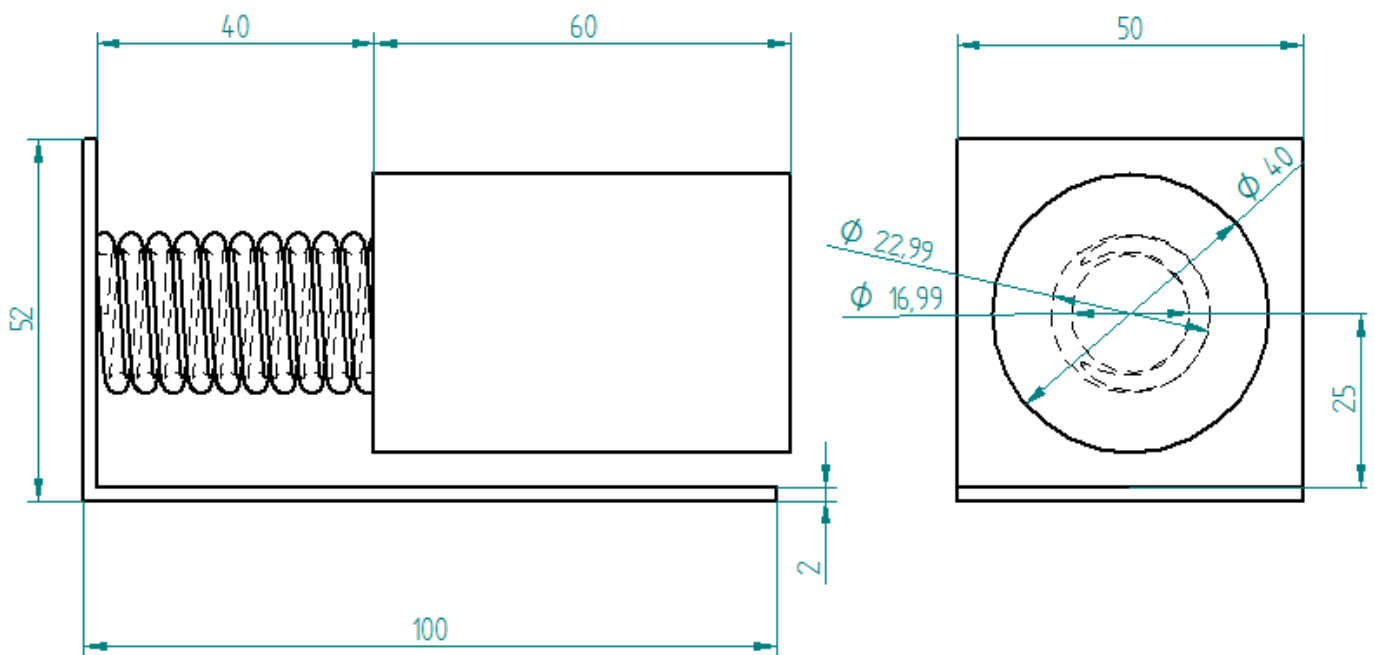
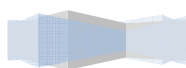


Figura 3.42 Planos acotados en milímetros



4. DISEÑO FINAL

4.1. ESTRUCTURA DE LA CAJA

A lo largo de este apartado, se analizan los diferentes puntos que constituyen la caja, extrayendo los datos arrojados del estudio realizado en el capítulo "*III: Diseño Preliminar*" en sus apartados "*1.1. Diseño Estructura General; 2. Diseño mecanismo de pestillería; 3. Diseño y Selección de Cerraduras; 4. Selección e instalación de delatores de seguridad.*"

A través de los puntos de este apartado, se incluyen elementos que previamente no se han analizado, ya que son soluciones a problemas generados del diseño preliminar, necesarias para el correcto funcionamiento del mecanismo y del ajuste de la puerta sobre el cajeadado exterior. Todos lo referente a estos añadidos se puede encontrar a continuación con explicaciones detalladas del porque de su inclusión y de las funciones que desempeñan.

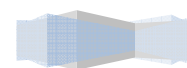
El programa que se ha utilizado es de tipo CAD-3D llamado **SolidEdge**, gracias a su motor gráfico se pueden diseñar los diferentes elementos de manera aislada extrayendo planos acotados, y con posibilidad de ensamblar diversos componentes en conjuntos más complejos que de una manera muy visual y descriptiva que muestren el diseño final.

Cabe destacar que en este apartado únicamente se incluyen los detalles constitutivos de la caja, los valores de resistencia y materiales se especifican en el apartado "*2. Datos técnicos*" de este mismo capítulo.

4.1.1. DETALLE DE LOS PANELES DEL CAJEADO

Los paneles son materiales compuestos por varios elementos a modo sándwich. Cada uno de los componentes desempeña una función de resistencia concreta, buscando maximizar las propiedades de la selección realizada.

Todo el cajeadado principal se compone de la misma combinación de materiales y estructuras, de manera que se establece que se puedan recibir ataques desde cualquier punto del espacio adyacente aportando la misma resistencia y duración.



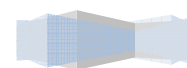
El espesor del conjunto toma un valor de 140 milímetros de espesor, con el perfil determinado en el *capítulo III* con los siguientes detalles:

- Chapas de acero de 5 milímetros a ambos lados de la pared; Utilizada para dar acabado final a la caja, proteger el acero Hadfield de posibles corrosiones y servir de elemento de sujeción para accesorios y pestillería.
- Palastro de acero Hadfield de 10 milímetros a ambos lados de la pared.
- Hormigón en masa HM-50/S/4/I, cubriendo todo el espacio dejado entre los dos palastros de acero.
- Maya de acero con barras de 5 milímetros distribuidas en cuadrados de 20 milímetros de lado (considerando las directrices de las barras como líneas de dibujo del perfil) a 15 milímetros del palastro interior de la pared.
- Maya de aluminio con barras de 4 milímetros distribuidas en cuadrados de 15 milímetros de lado a 15 milímetros del palastro exterior de la pared.

Con esta distribución se consigue que sea imprescindible el uso de diversas herramientas y filos con el objetivo de obtener alguna posibilidad de atacar a todo el rango de resistencias establecido. Además, como ya se analizó, todos estos materiales tienen una función activa de ataque que mejora la resistencia notablemente.

Si fuera necesario cualquier elemento adicional o estructura especial (como puede ser un agujero pasante para cables y anclajes), se podría mecanizar con mejor esfuerzo en la fase de fabricación ya que los componentes no necesariamente están unidos y no suponen combinaciones de resistencias.

Los espesores establecidos se han considerado mediante estimaciones de resultados realizados en los ensayos del *capítulo III*, apartado: 3.1.4 Ensayos y las consideraciones iniciales comparadas con las cajas existentes en el mercado.



4.1.2. DETALLE DE LA PUERTA

4.1.2.1. Mecanismo de cierre

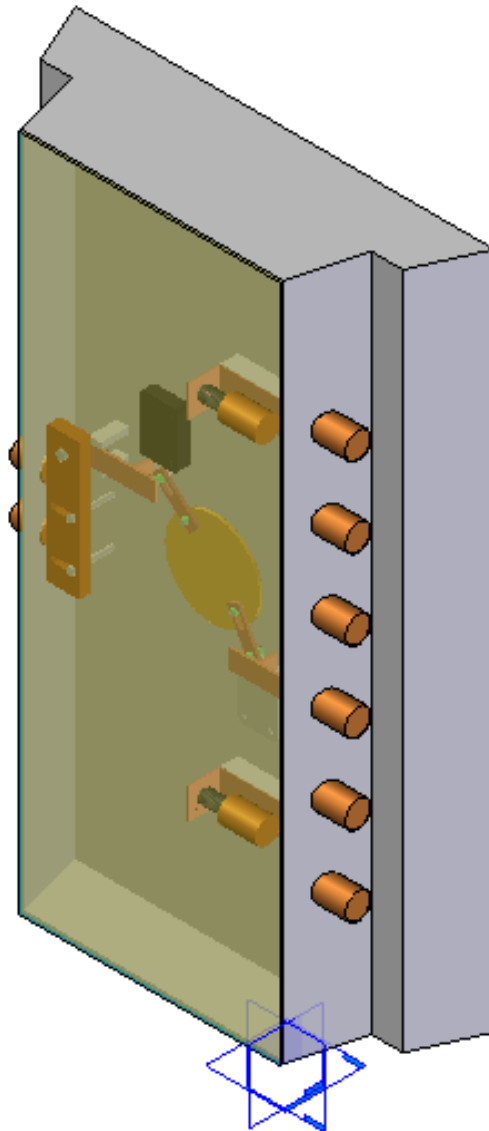
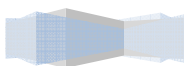


Figura 4.1 Diseño general de la puerta incluyendo mecanismo

El mecanismo de cierre está compuesto por los componentes dimensionados en el *capítulo III*, principalmente los bulones, cerraduras y maneta. Por otro lado, se necesitan eslabones intermedios que establezcan el movimiento completo de la cadena cinemática, desde el movimiento de giro de la maneta hasta el movimiento lineal de los bulones primarios y secundarios. En la figura 4.1 se muestra el diseño genérico del mecanismo y los pestillos, tal y como quedará la puerta tras la fabricación.



El mecanismo completo mostrado en la figura 4.2 está compuesto por:

- Eje principal de giro
- Leva circular
- Eslabones principales
- Eslabones secundarios
- Tornillería y elementos de unión
- Cerraduras
- Mecanismos de rebloqueo

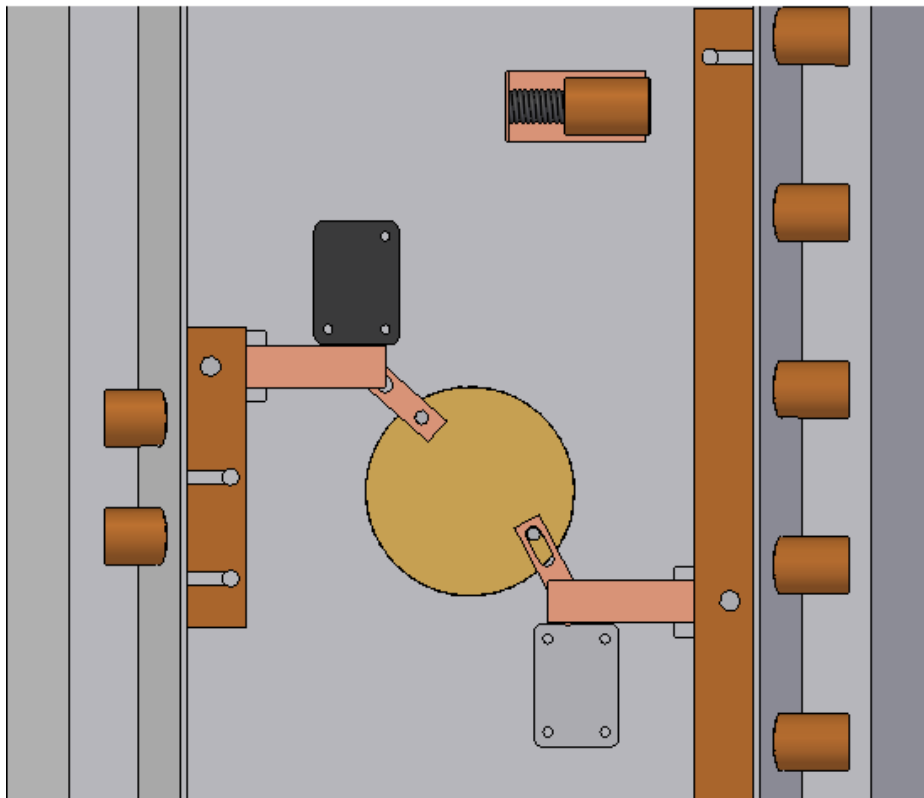
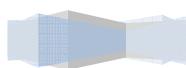


Figura 4.2 Detalle del mecanismo interior

A continuación se detallan las características y constitución de los nuevos elementos integrados, detallando el porqué de su inclusión y las relaciones que se establecen entre ellos.

Cada uno tiene una función concreta, buscan el bloqueo mediante el uso de la maneta o simplemente suponen elementos de seguridad adicionales para evitar intrusiones en el contenido.



a. Eje principal de giro

Se trata del elemento que permite transmitir el movimiento de la maneta, que se encuentra en el exterior de la caja al margen de cualquier elemento interior del mecanismo, a la leva circular (elemento central de la cadena cinemática).

La única función que tiene es esta, debiendo cumplir con la normativa vigente, obligando a minimizar el diámetro que debe tener, por lo que en contra a las propiedades beneficiosas que tiene un tubo frente a una barra en lo que respecta a esfuerzos de torsión, el perfil debe ser circular. La longitud tiene que ser la suficiente como para atravesar la puerta y contener en sus extremos la maneta y la leva.

La unión es un conjunto roscado atravesado por un pasador cilíndrico que bloquee el giro relativo entre las dos superficies.

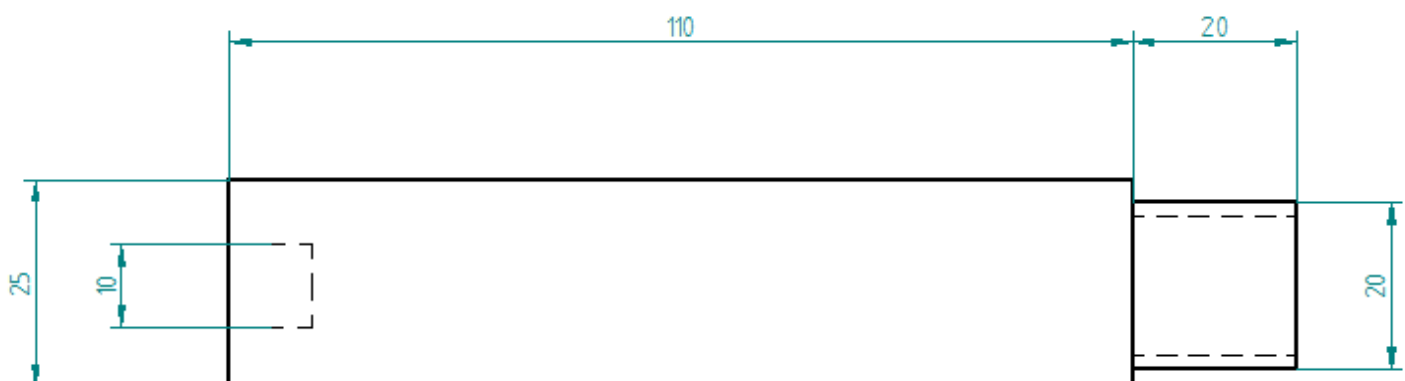
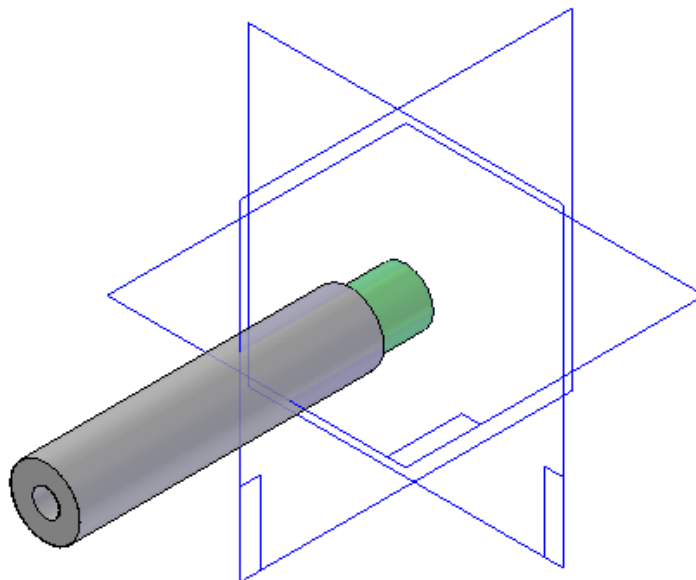


Figura 4.3 Detalle del eje de giro



b. Leva circular

Eslabón central de la cadena cinemática que transmite el movimiento circular a los dos ramales pertenecientes a cada uno de los pestillos. Se trata de una chapa de 5 milímetros con dos orificios roscados de M10 en los que van alojados los tornillos con el extremo del cuerpo no roscado y lubricado, que permite el movimiento relativo con los eslabones secundarios.

La unión con el eje de giro es una soldadura realizada a priori del montaje general del mecanismo.

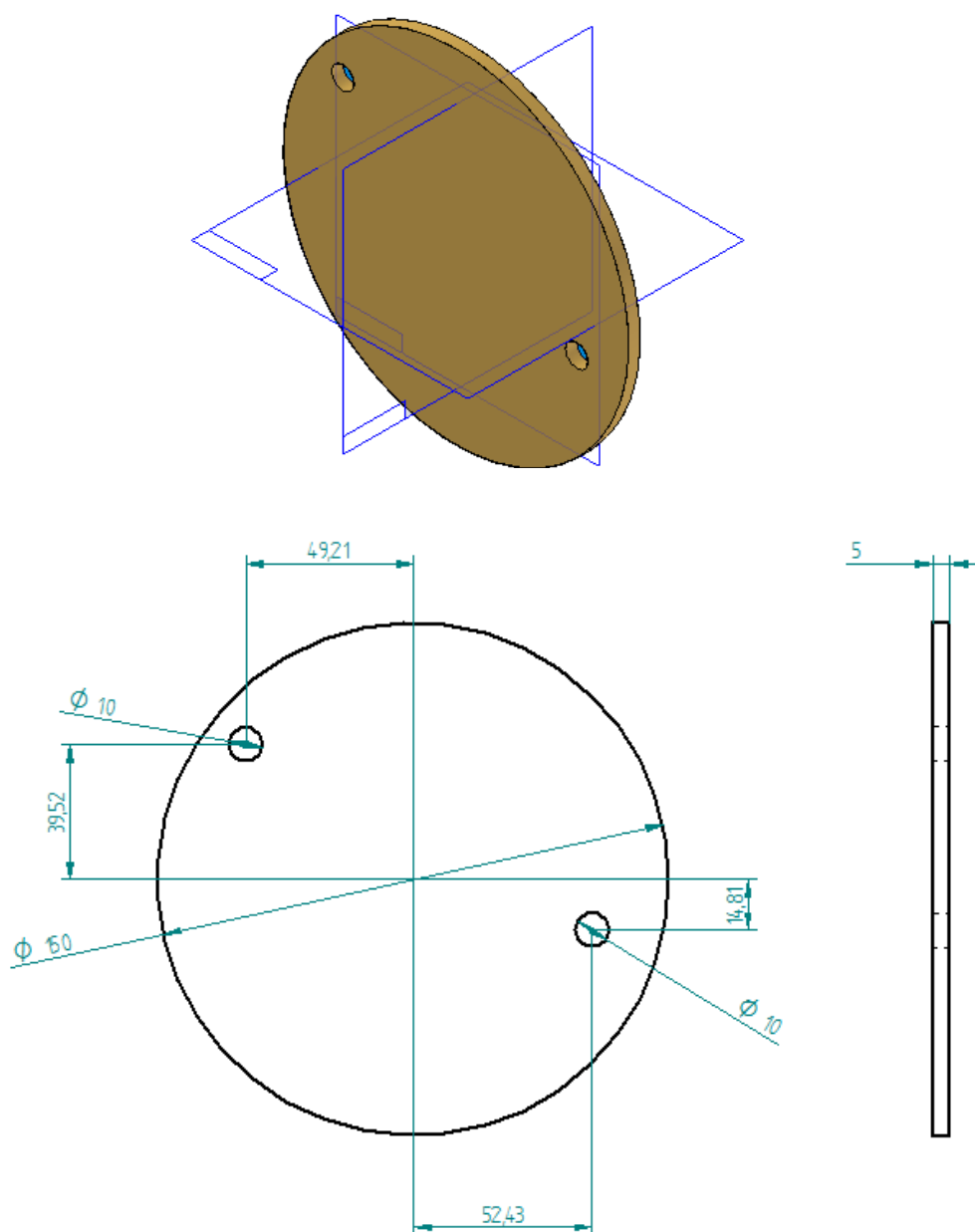
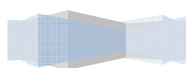


Figura 4.4 Detalle de la leva circular



c. Eslabones principales

Este elemento ha requerido una atención especial dentro del diseño del mecanismo a causa de las funciones elementales que debe desempeñar, por ello se establecen las siguientes modificaciones que se pueden ver detalladas en la figura 4.5.

- *Desplazamiento lineal:* Se establecen guías en la estructura de la puerta, para restringir uno de los grados de libertad del eslabón, de manera que solo se permita el movimiento colineal a los pestillos.
- *Fijación a los pestillos:* Para la fijación con los pestillos se utilizan tornillos roscados de M10 con las correspondientes tuercas.
- *Punto de bloqueo con las cerraduras:* Es necesario que las cerraduras tengan un punto de contacto con el eslabón, para que en posición de cerrado, no permitan que el mismo se desplace recogiendo los bulones. Por ello se incluye una aleta de dimensiones determinadas en la figura 4.6 que realice la función de bloqueo con cerraduras cerradas.
- *Elemento intermedio entre eslabones con 2 grados de libertad y pestillos:* Para poder desempeñar esta función es necesario que la unión entre estos y el pestillo permita el giro relativo entre ambos. Para ello se diseñan unas guías en los pestillos secundarios, con el objetivo de permitir que los puntos de unión puedan girar y desplazarse.

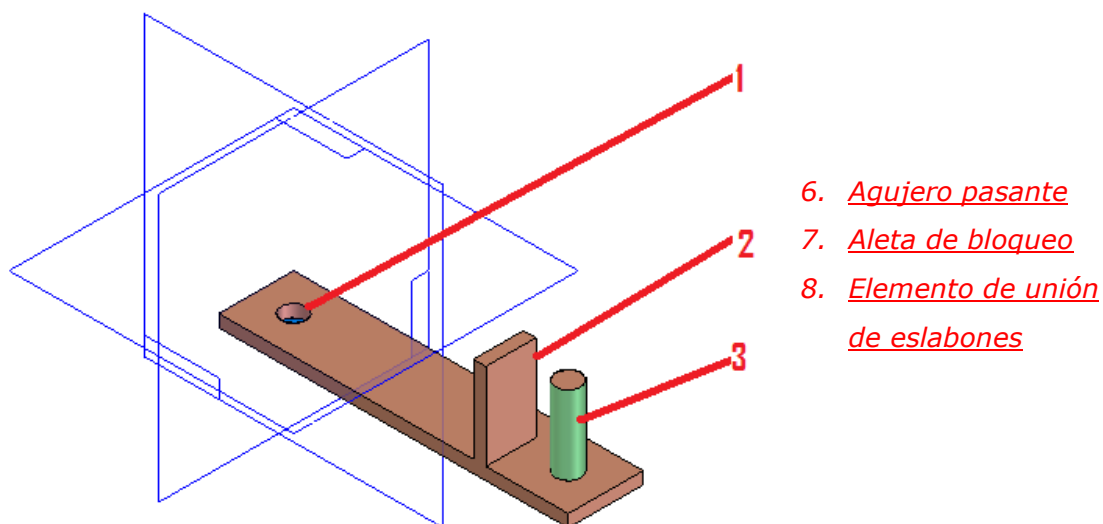
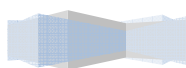


Figura 4.5 Descripción de la chapa de movimiento principal



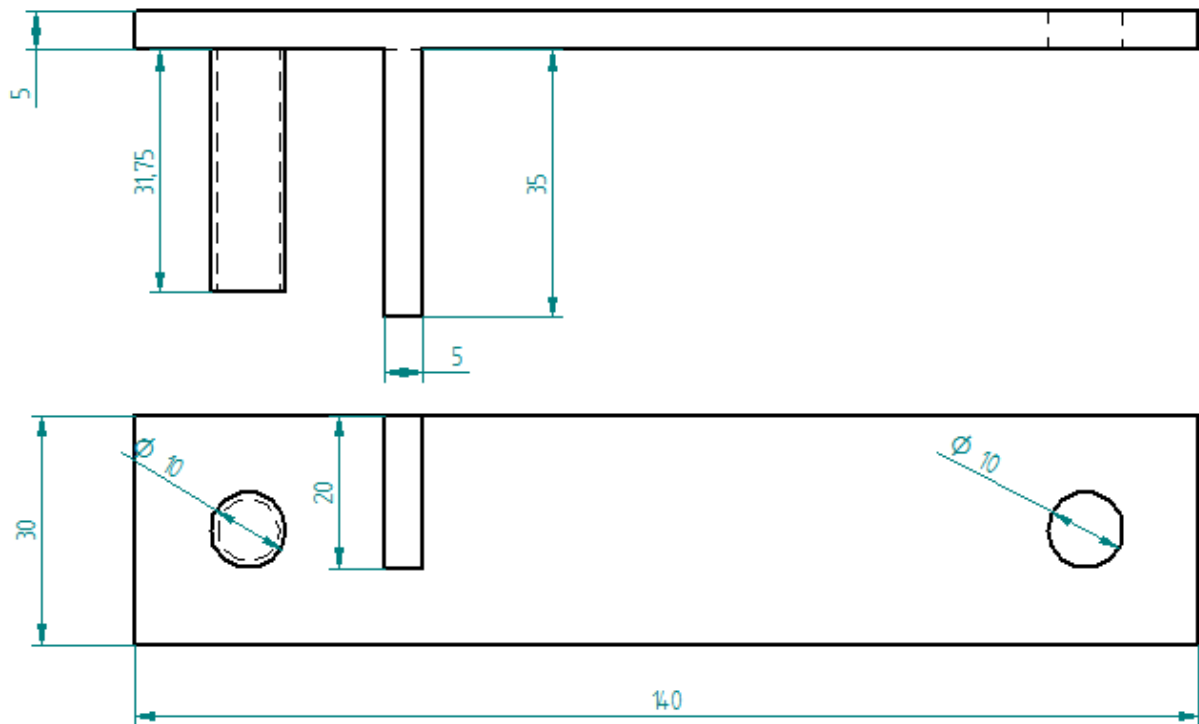


Figura 4.6 Detalle de la chapa de movimiento principal

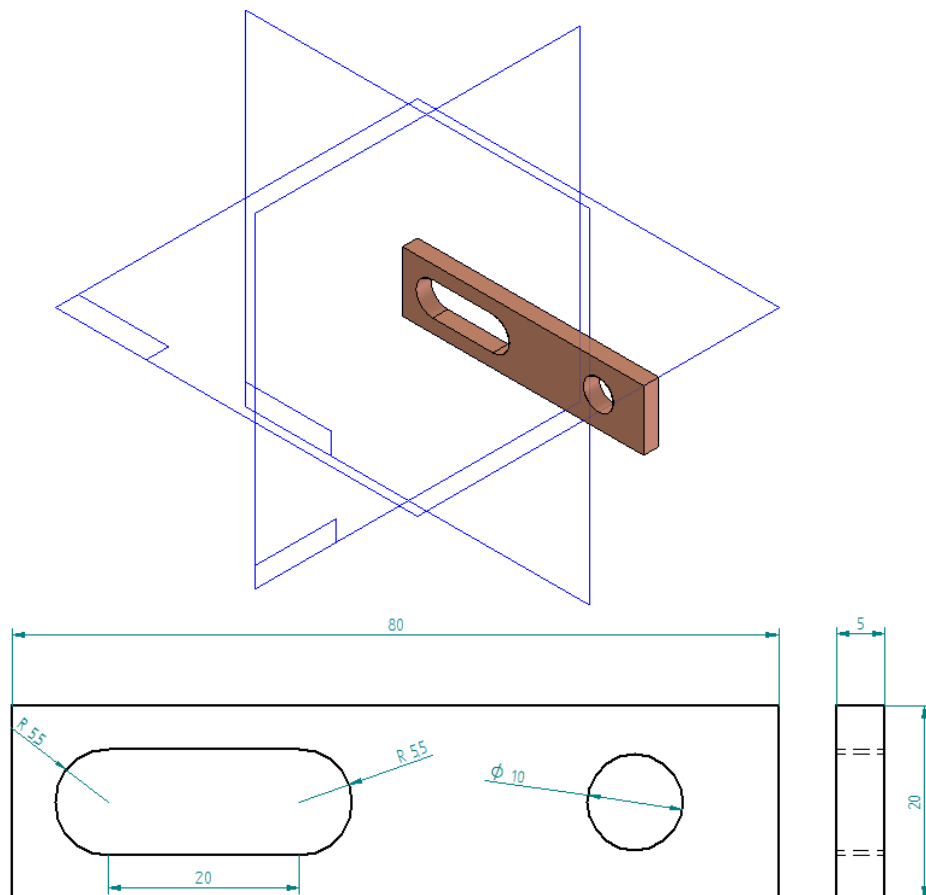


Figura 4.7 Detalle de la chapa de movimiento secundaria

4.1.2.2. Puntos notables

Dentro de todo proyecto surgen puntos especiales de análisis, que necesitan una atención especial a la hora del diseño. A lo largo de este apartado se pretenden detallar los puntos importantes dentro del mecanismo, gracias a su debilidad, constitución o relevancia.

Se incluye el análisis de:

- Puntos de unión rebloqueos-pestillos
- Puntos de unión cerraduras-eslabones principales
- Puntos de anclajes de cristal delator

a. Unión rebloqueo-pestillo

Este punto no supone una unión propiamente dicha, es un punto notable en el que se relaciona el bulón con la pieza base de los bulones de cierre.

Es imprescindible que se ceda una holgura mayor que la que las tolerancias de fabricación indiquen, de forma que no se mantenga en constante contacto con los pestillos cuando la puerta se encuentre en posición de abierto. La principal causa de ello es que no es un dispositivo de bloqueo que está regulado por elementos externos, y que si en algún momento se libera, no se podrá abrir la puerta sino es forzándola.

Al ceder esta holgura, cualquier posible vibración o impacto de pequeña magnitud producido en los pestillos no se transmite al mecanismo de bloqueo, evitando que este salte bloqueando el sistema. El momento en que ambos dispositivos entran en contacto, únicamente debe acaecer cuando el cristal delator se rompa y libere los bulones de bloqueo. En este punto, el único requerimiento exigido es que la unión se mantenga fija y no haya forma de desplazar longitudinalmente los pestillos. Por lo tanto no se requiere una lubricación especial ya que no debe existir movimiento relativo.

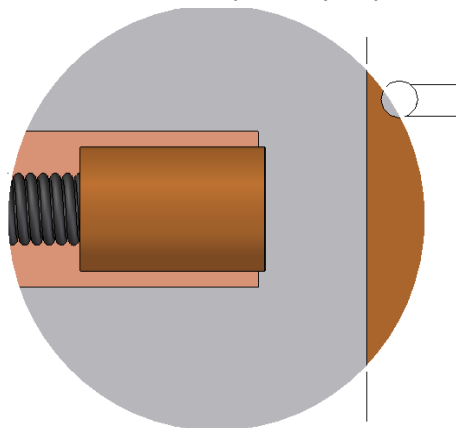
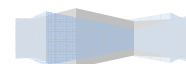


Figura 4.8 Punto de contacto rebloqueo-pestillo



b. Unión cerradura-eslabones

Estos son los puntos claves del mecanismo, ya que suponen el bloqueo general de la caja fuerte desde el exterior sobre eslabones móviles internos. Las cerraduras solo pueden ser abiertas mediante la llave o la clave electrónica (según corresponda), por lo que el usuario de la caja con conocimiento y posesión de las mismas es el único que puede habilitar la apertura.

Las dos cerraduras interactúan con los eslabones principales mediante unas aletas que poseen estos. En la posición de cerrado, los pestillos bloquean el desplazamiento longitudinal de los eslabones, por lo que si no se recogen, es imposible que la maneta exterior gire.

Además, y como método de seguridad adicional, estas aletas en posición de abierto, impiden que los pestillos retornen a su posición de cerrado, con lo que se activa la función de puerta abierta del dispositivo electrónico instalado. La botonera, transcurridos 5 minutos de encontrarse la cerradura en posición de abierto, comenzará a emitir pitidos intermitentes para avisar al usuario que la puerta no se ha cerrado. Con esto se evita que se quede la puerta colocada pero no cerrada.

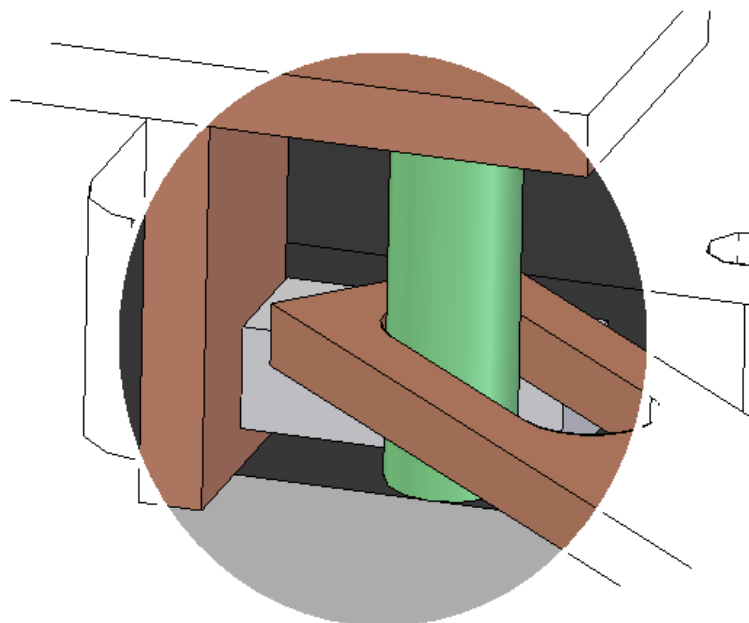
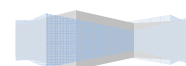


Figura 4.9 Detalle punto de unión cerradura electrónica-eslabones principales



c. Unión de anclajes del delator.

Al igual que el punto de unión entre el rebloqueo-pestillo, este es un punto muy delicado, ya que supone el bloqueo de la caja fuerte ante un fallo por pequeño que sea.

En este caso la unión es muy sencilla, ya que el cristal dispone de orificios con reborde cubiertos de silicona donde se puede insertar una anilla de sujeción anexa al cable solidario a los rebloqueos.

A su vez, es necesario que los cables queden correctamente fijados en los delatores, para ello, basta con realizar un orificio de diámetro muy reducido (3 o 4 milímetros) que atraviese los bulones de rebloqueo, y cuyo extremo opuesto al cristal este fijado mediante un pequeño punto de soldadura.

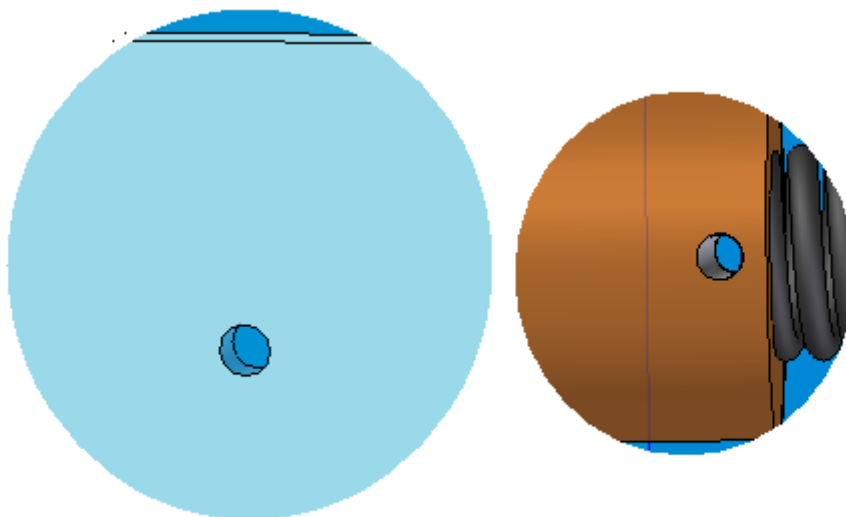
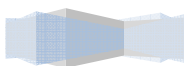


Figura 4.10 Muestra de los orificios dispuestos para el cable



4.2. DATOS TÉCNICOS

En este apartado se enumeran y describen las selecciones finales de las características técnicas de la caja. Se incluyen materiales y componentes de las distintas partes con sus funcionalidades y propiedades resistivas.

En la mayoría de los casos los datos son obtenidos mediante los análisis realizados en el *capítulo III*, pero para los últimos añadidos, y para elementos que no estén tan solicitados como los que regula y controla norma **UNE-EN 1143-1:1997**, se incluye a continuación la selección y los criterios aplicados.

4.2.1. **COMPONENTES Y MATERIALES DE LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES**

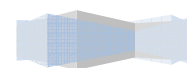
Se nombran estructuras principales a todos los elementos que son responsables directos de la resistencia de la caja y de su correcto bloqueo (suficientemente resistente según la norma). Los principales materiales que los componen son el acero, el hormigón y en menor medida el aluminio y el hierro, tal y como se analiza en el *Capítulo III* en su apartado 3.1.2: *Selección de materiales*.

4.2.1.1. **Acero Hadfield**

El acero seleccionado finalmente para la elaboración de la caja es:

Acero Hadfield B-4 (según norma ASTM A128)

- Composición (%):
 - ✓ Carbono [1,20-1,35]
 - ✓ Manganeso [11,50-14,00]
 - ✓ Silicio [0,00-1,00]
 - ✓ Fósforo [0,00-0,07]
- Propiedades:
 - ✓ Resistencia a la corrosión.
 - ✓ Dureza Brinell aparente entre 180 y 900.
 - ✓ Resistencia a tracción entre 550 y 750 MPa.
 - ✓ Actúa de forma activa frente a deformaciones superficiales (incluido mecanizado).
 - ✓ Soldable.
 - ✓ Comercializado en forma de palastros de espesores determinados.



- Elementos donde se emplea:
 - ✓ Refuerzo interno de las paredes del cajeadado, mediante palastros de espesores determinados (*Capítulo IV, apartado 4. 1.1*).
 - ✓ Refuerzo interno de las paredes de la puerta (*Capítulo IV, apartado 4.1.1*).

4.2.1.2. Hormigón

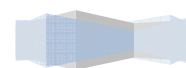
El hormigón seleccionado para colocarse en las paredes de la caja es:

Hormigón en masa HM-50/S/4/I (según Instrucción de Hormigón Estructural "EHE")

- Composición y características:
 - ✓ *Hormigón en masa con resistencia característica a compresión a 28 días de 50MPa.*
 - ✓ *Clase de exposición no agresiva (Elemento de hormigón en masa en interior de edificios).*
 - ✓ *Consistencia seca.*
 - ✓ *Árido fino.*
- Propiedades:
 - ✓ Resistencia suficiente para soportar los esfuerzos mínimos de compresión a los que se somete a la caja.
 - ✓ Consistencia adecuada.
 - ✓ Propiedades abrasivas frente a herramientas con filos para metal.
 - ✓ Árido de tamaño adecuado para contener las armaduras determinadas en el *Capítulo III, apartado 3.1.2*.
 - ✓ Peso característico mínimo, acorde con las propiedades resistivas y el precio derivado del mismo.
- Elementos donde se emplea:
 - ✓ Todas las paredes y la puerta de la caja, ya que se trata del elemento principal constitutivo.

4.2.1.3. Acero (armadura del hormigón)

El acero que se va a seleccionar para realizar la armadura interior del hormigón es el siguiente:



Acero en Barras de 6mm B400S

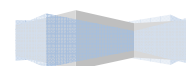
- Composición [%]:
 - ✓ Cobre [0,24]
 - ✓ Fósforo [0,055]
 - ✓ Silicio [0,055]
 - ✓ Nitrógeno [0,013]
 - ✓ Hierro [Resto]
- Propiedades:
 - ✓ Limite de rotura [MPa]: 440
 - ✓ Limite Elástico [MPa]: 450
- Elementos donde se emplea:
 - ✓ Maya interior del hormigón dedicada a dañar los filos de piedra que se estén utilizando para atravesar la pared.

4.2.1.4. Aluminio

El aluminio que se va a seleccionar para realizar la armadura interior del hormigón es el siguiente:

Aluminio en Barras de 4mm Aleación Simagaltok 01 (Fabricante: ALU-STOCK S.A.)

- Composición [%]:
 - ✓ Hierro [0,50]
 - ✓ Cobre [0,10]
 - ✓ Magnesio [0,35-0,80]
 - ✓ Zinc [0,10]
 - ✓ Manganeso [0,03]
 - ✓ Silicio [0,30-0,70]
 - ✓ Otros [0,15]
 - ✓ Aluminio [Resto]
- Propiedades:
 - ✓ Limite de rotura [MPa]: 125
 - ✓ Dureza Brinell [HB]: 30
 - ✓ Limite Elástico [MPa]: 55
 - ✓ Límite de Fatiga [MPa]: 120
 - ✓ Recocido
- Elementos donde se emplea:
 - ✓ Maya interior del hormigón dedicada a dañar los filos de amoladora de corte.



4.2.2. COMPONENTES Y MATERIALES DE ELEMENTOS AUXILIARES

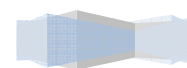
Los componentes auxiliares solo se ven afectados por requerimientos de uso, ya que no desempeñan funciones resistentes notables. Para considerar que materiales son los recomendados, es necesario evaluar cuáles son los esfuerzos a los que se van a ver sometidos, por lo que se establecen las siguientes consideraciones:

- Son dispositivos no sometidos a esfuerzos cinemáticos notables. No soportan esfuerzos inerciales derivados del movimiento o son de carácter despreciable. Por lo que se pueden considerar estados estáticos (que generan esfuerzos mucho menores).
- Los principales daños al mecanismo vendrán derivados del uso a largo plazo, de efectos de fatiga y rozamientos. Es necesario que se establezcan protocolos de mantenimiento para preservar el correcto funcionamiento.

Como consecuencia de esto, se considera que el material adecuado puede ser el mismo acero seleccionado para la armadura del hormigón, puesto que no es caro y cumple con creces los requerimientos del sistema:

Acero en Barras de 6mm B400S

- Composición [%]:
 - ✓ Cobre [0,24]
 - ✓ Fósforo [0,055]
 - ✓ Silicio [0,055]
 - ✓ Nitrógeno [0,013]
 - ✓ Hierro [Resto]
- Propiedades:
 - ✓ Limite de rotura [MPa]: 440
 - ✓ Limite Elástico [MPa]: 450
- Elementos donde se emplea:
 - ✓ Maya interior del hormigón dedicada a dañar los filos de piedra que se estén utilizando para atravesar la pared.



4.3. PRESTACIONES

Como resultado del diseño y de la selección de materiales, la caja fuerte tiene las siguientes características principales, dato vital que se presenta a los clientes finales:

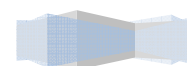
- Dimensiones: (1350x795x610) mm
- Peso aproximado: 1260kg
- Volumen interior: $150 \text{ litros} \cong 0,15 \text{ m}^3$

Comparativamente con cajas del mercado, se trata de un modelo de peso medio, con dimensiones estándar y una capacidad reducida. El volumen interior es menor al de resto de cajas del mercado, dado que sus paredes son mayores, haciendo gala de una resistencia mucho mayor, llegando en ciertos puntos a alcanzar características de dispositivos de mayor grado.

4.3.1. CARACTERÍSTICAS COMUNES DE CAJAS DE GRADO V

Las características que se establecen como necesarias para cumplir el grado V, están detalladas en el *Capítulo II*. A lo largo del *Capítulo III* se ha analizado el modelo inicial de manera que pueda cumplir los requisitos establecidos en la norma **UNE-EN 1143-1:1997**, de manera que se obtiene la designación de grado de resistencia V acorde con los ensayos sometidos con las pautas establecidas y los siguientes resultados:

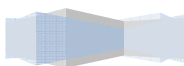
- ✓ Valor de resistencia al ataque con herramienta al acceso parcial, determinado mediante ensayos de taladrado: $Ru_{Caja}^{min} = 214$
- ✓ Valor de resistencia al ataque con herramienta al acceso completo, determinado mediante ensayos con lanza térmica: $Ru_{Caja}^{min} = 284$
- ✓ Fuerza de anclaje no determinada, puesto que el peso de la caja y el campo de aplicación no es requerido por la norma.
- ✓ Indicado en el *Capítulo III*, apartado 3, se seleccionan del espectro de fabricantes y sus correspondientes catálogos una cerradura mecánica y otra electrónica que cumplan la categoría B según norma **EN-1300**.



4.3.2. CARACTERÍSTICAS DE MEJORA DE LA CALIDAD

La totalidad de este proyecto busca mejoras incrementales en lo que determina a una caja Grado V. Por ello se han incluido pequeños detalles que no solo mejoren el diseño de la caja, sino que también consideren los otros elementos que pueden atacar a las diferentes cajas del mercado:

- ✓ Inclusión de placas de Acero Hadfield en todos los sándwich de la caja, mejorando la resistencia, dañando y anulando la efectividad de los filos de corte para hierro.
- ✓ Añadido de armadura de acero en el hormigón para neutralizar o retrasar el efecto de los filos de piedra.
- ✓ Añadido de maya de aluminio para dañar los discos de radial, y provocar el uso de opciones más especializadas (uso de filos de corte para aluminio en entorno de acero y piedra).
- ✓ Inclusión de cristal de rebloqueo que cubra toda la pestillería, haciendo inútil el ataque de precisión frente a eslabones de la cadena cinemática de apertura.
- ✓ Colocación estratégica de los bulones de rebloqueo dificultando su localización y consecuente anulación, actuando directamente sobre los pestillos de cierre.
- ✓ Diseño resistente y ergonómico de la manera que posibilite la apertura del mecanismo de manera suave y a su vez soporte esfuerzos derivados el uso.



4.4. FABRICACIÓN

El proceso de fabricación viene determinado por la figura 4.11 en el que se enumeran los pasos que deben realizarse para obtener el producto final a partir de los materiales iniciales.

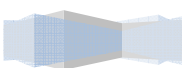


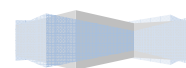
Figura 4.11 Proceso de fabricación

Los componentes iniciales llevan cierto grado de manufactura preliminar principalmente derivado del ahorro en costes analizado en el apartado "5: *Valoración y viabilidad económica*", con la consiguiente reducción de tiempos y simplificación de operaciones de mecanizado. Especialmente, se tratan de elementos mecanizados con cierta complejidad, que deben ser tratados por la maquinaria correcta y recomendada:

- Chapas de acero, distribuidas en láminas de 5 milímetros de espesor.
- Palastros de acero Hadfield de 10 milímetros cortadas con las dimensiones requeridas para cubrir toda la superficie del contorno de la caja.
- Maya de acero y maya de aluminio distribuida por los fabricantes indicados en el apartado "2.1.2. *Hormigón*" de este mismo capítulo.

Los elementos auxiliares⁵ no requieren un proceso de fabricación complejo, únicamente se componen de chapas obtenidas por punzado en una cadena de mecanizado, con bulones (en algunos casos roscados) insertados y posteriormente soldados en el alojamiento que se les prepara. Gracias a la simplificación de su diseño pueden ser producidos en grandes lotes por empresas ajenas, con garantías de suministro y calidad.

⁵ Se refiere elementos auxiliares como todos los componentes del mecanismo de cierre y bulones de bloqueo



4.5. VALORACION Y VIABILIDAD ECONÓMICA

Toda fabricación tiene como objetivo la obtención de beneficios para la empresa que desarrolla y ejecuta el diseño. Es por ello, que durante todo el estudio, de manera paralela se han considerado los costos que pueden derivarse de las selecciones realizadas.

El objetivo principal es dar un precio competitivo con las características aumentadas respecto a cajas de grado V. En el segmento del mercado en que se mueve la comercialización de cajas fuertes, se puede buscar la competitividad por diferentes medios:

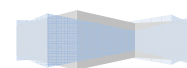
- Dando un artículo de acuerdo a las necesidades del cliente, ergonómico, adaptable y funcional
- Ofreciendo un artículo específico altamente profesional, con propiedades complejas y características muy elevadas.
- Buscar un precio reducido ajustándonos a la normativa vigente.
- Crear un artículo innovador que oferte cosas inexistentes en el mercado.

En primer lugar se debe estimar un precio de mercado para una caja fuerte con características estándar similares a la diseñada. Se identifican modelos y se listan precios orientativos:

FABRICANTE	MODELO	DIMENSIONES (alto X ancho X fondo)		PESO (kg)	VOLUMEN	GRADO	PRECIO (I.V.A. 21%)
		EXTERIORES (mm)	INTERIORES (mm)				
<i>Ferrimax</i>	<i>CF-820</i>	1350x775x630	1190x615x400	1260	0,292	V	4.103,75 €
<i>Arcas Olle</i>	<i>AP-8M</i>	1400x650x650	1300x550x505	810	0,361	IV	2.292,96 €
<i>Arcas Gruber</i>	<i>X-140</i>	1450x750x645	1200x500x350	1142	0,210	V	4.352,03 €
<i>Baussa</i>	<i>141-SM</i>	1410x800x650	1210x600x400	1050	0,290	V	4.967,99 €
<i>Prototipo</i>	<i>Prototipo</i>	1350x795x610	1080x515x260	1650	0,145	V	Sometido a estudio

Figura 4.12 Precios y datos de cajas fuertes

La diferencia de precios entre modelos de alta gama de grado IV y grado V, es muy elevada, prácticamente el doble de precio por aumentar la categoría de la caja. El rango de precios en los que se mueve el mercado ronda los 4000-5000€. Todo esto únicamente evaluando la opción de compra por el precio, mas adelante, si analizan otros puntos a tener en cuenta (que pueden justificar precios menos o mayores en función de su utilidad).



Por otro lado hay que comparar el resto de propiedades:

- ✓ Caja con dimensiones ligeramente por debajo de la media.
- ✓ Peso elevado
- ✓ Volumen interior reducido, principalmente causado por las propiedades equidireccionales de resistencia que contiene.

El precio final de la caja dependerá directamente de los costes de fabricación, distribución e instalación y el beneficio que aportará a la empresa, para ello se realiza el siguiente análisis de costes:

- ✓ Costes de materiales de la caja:

Son resultado directo del precio de adquisición de los materiales, facilitado por los proveedores seleccionados:

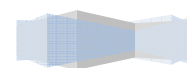
Coste del acero	0,498 €
Coste del aluminio	1,429 €
Coste del acero Hadfield	0,542 €
Coste del hormigón en masa	0,142 €

Figura 4.13 Costes unitarios de materiales

Es necesario obtener el volumen independiente de cada material que se va a consumir, pudiendo obtener datos concretos de la dependencia de costes finales. Con esto facilitará el ajuste posterior de consumo y diseño derivado de la viabilidad económica.

	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Peso Total (kg)	Coste Unitario (€/kg)	Coste Total
Acero Hadfield B-4	0,067052 €	8000,00	536,416	0,542	290,68 €
Hormigón HM 50/S/4/I	0,425997 €	2300,00	979,793	0,142	138,78 €
Barras Acero B400S	0,009041 €	7800,00	70,518	0,498	35,15 €
Barras Aluminio Simagaltok 01	0,007981 €	2700,00	21,548	1,429	30,80 €
		PESO CAJA:	1608,275	COSTE TOTAL :	495,40 €

Figura 4.14 Valoración de materiales de cajado principal



- ✓ Costes de accesorios y elementos de mecanismo interior

Estos costes derivan directamente del fabricante, ya que estos artículos no necesitarán mecanización posterior y simplemente se deben acoplar al cajado final una vez este montado en su totalidad. Los precios indicados tienen un descuento detallado en la tabla, además de contener el I.V.A.

Componentes del mecanismo			
Elemento	Coste unitario	Descuento	Coste total
Eslabones primarios (x2)	15,48 €	25,00%	23,22 €
Eslabones secundarios (x2)	3,12 €	25,00%	4,68 €
Leva circular	8,25 €	25,00%	6,19 €
Eje principal de giro	20,00 €	25,00%	15,00 €
Maneta	99,95 €	25,00%	74,96 €
Mecanismos de rebloqueo (x2)	50,50 €	25,00%	75,75 €
Cristal de rebloqueo	150,80 €	35,00%	98,02 €
Coste de cerradura mecánica	30,17 €	10,00%	27,15 €
Coste dispositivo de retardo	169,75 €	10,00%	152,78 €
Tornillería general	15,00 €	0,00%	15,00 €
TOTAL MECANISMO:			492,75 €
TOTAL SIN IVA:			407,23 €

Figura 4.15 Elementos auxiliares y mecanismo interior

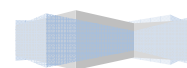
- ✓ Costes adicionales ⁶

Es necesario incrementar los costes a consecuencia de gastos adicionales como almacenamiento, mano de obra y distribución. Principalmente se dan datos de referencia, obtenidos de las pruebas de montaje realizadas extrapoladas a la fabricación unitaria del producto.

Costes producción y almacenamiento			
Concepto	Coste hora (€/h)	Tiempo (h)	Coste total
Costes de montaje	25,00 €	10	250,00 €
Costes no productivos (tiempos muertos)	0,10 €	504	50,40 €
Costes de almacenamiento	0,10 €	360	36,00 €
TOTAL:			336,40 €

Figura 4.16 Costes de fabricación y almacenamiento

⁶ Se llamarán costes adicionales en este documento a aquellos que no deriven directamente de la compra de materiales



Costes de distribución (Península y Baleares)	125 €
Costes instalación y puesta en marcha (Albañilería y anclajes no incluidos)	150 €

Figura 4.17 Costes de distribución e instalación

Se puede ver claramente, que los mayores costes que se deben soportar, derivan de la mano de obra que se debe contratar, más que del material real que se consume en la producción.

✓ Precio final

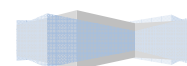
Finalmente, del análisis se obtiene un precio (I.V.A. incluido) de venta al público de **3663,96€**, suponiendo un beneficio del 200% respecto de los costes unitarios. Este precio supone un valor competitivo adicional de la caja, ya que gracias al diseño exacto de mecanismos, selección correcta de materiales y dimensionamiento optimizado se puede ofertar un elemento funcionalmente superior con una reducción de precio de casi un 20%, respecto de la media existente en el mercado.

COSTES DE MATERIALES	902,63 €
COSTES DIRECTOS DE PRODUCCION	1.239,03 €
COSTES TOTALES	1.514,03 €
PRECIO ESTIMADO VENTA (200%)	3.028,06 €
PRECIO VENTA IVA INCLUIDO (21%)	3.663,96 €

Figura 4.18 Valoración final de precios de ventas

FABRICANTE	MODELO	GRADO	PRECIO (I.V.A. 21%)	AHORRO PROTOTIPO
<i>Ferrimax</i>	<i>CF-820</i>	V	4.103,75 €	10,72%
<i>Arcas Gruber</i>	<i>X-140</i>	V	4.352,03 €	15,81%
<i>Baussa</i>	<i>141-SM</i>	V	4.967,99 €	26,25%
Prototipo	Prototipo	V	3.663,96 €	

Figura 4.19 Ahorro de costes frente a las otras cajas del mercado



5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Como conclusión, la idea inicial de desarrollar una caja fuerte que cumpla con los requerimientos de grado V, se ha llevado a cabo de manera satisfactoria. El dispositivo diseñado es capaz de cumplir con las exigencias técnicas y de mercado, suponiendo una solución con una clara ventaja competitiva dentro de su sector industrial.

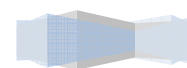
Además, es notablemente superior en diseño respecto lo que se espera de una caja fuerte de su categoría, llegando incluso a alcanzar a sus competidores de mayor nivel (Grado VI y superiores) en ciertas características.

El precio unitario de venta al público supondrá un valor añadido muy notable, ya que se puede ofertar un producto de calidad superior a costes inferiores, gracias a la ingeniería aplicada a la selección de materiales, y el diseño optimizado del mecanismo de la puerta.

Es de esperar que las modificaciones de las leyes y la evolución del mercado, requieran que el diseño sea adaptado al cliente, es por ello, que en todo momento se han considerado las diversas partes que lo componen como independientes unas , facilitando cambios de manera modular sin que se necesite realizar un estudio exhaustivo de todo el conjunto.

Asimismo, al ser un diseño adaptado a las exigencias del cliente, y a pesar de la complejidad y el detalle del estudio realizado, siempre surgen nuevas ampliaciones, mejoras y accesorios que incluir en un diseño, es por ello, que se dispone de un diseño abierto en todos los aspectos. A continuación se enumeran, junto con una breve explicación, estudios futuros que pudieran realizarse para mejorar el diseño, o ampliar segmentos del mercado donde comercializar el producto:

- ✓ **Diseño propio y homologación de cerraduras:** De manera similar a los elementos de la pestillería, las cerraduras son compradas a ciertos proveedores, suponiendo un coste para la caja fuerte de 179,93€ en el coste final con I.V.A., aproximadamente el 10% del total del precio final de la caja fuerte. El estudio debería enfocar, utilizando como herramienta base la normativa de cerraduras, como crear dispositivos con la seguridad requerida



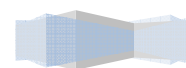
a costes mínimos. Dado que la caja es de fabricación propia, cabría incluso la posibilidad de realizar elementos integrados en la propia caja fuerte.

El objetivo sería reducir costes y la posibilidad de convertir a la empresa en su propia suministradora de cerraduras.

- ✓ **Creación de dispositivos de anclaje y bancada:** Como se ha detallado, no es necesario anclar una caja fuerte autónoma que pase de los 1000kg, se interpreta que con esa masa es complicado que pueda ser desplazada de su emplazamiento.

No obstante, han surgido nuevas normativas que dan ciertas directrices para anclar cajas mayores, con lo que se podría considerar colocar estos elementos en un número mayor de sitios. Además, se puede analizar modelos de anclajes y bancadas para poder situar cajas tan pesadas en plantas de un edificio (no los habituales sótanos de las oficinas bancarias).

- ✓ **Instalación de dispositivos de seguridad IP con conexión a CRA:** En la actualidad, dado el sencillo acceso a elementos con conexión a internet, se está generalizando la idea de tener dispositivos de seguridad controlados de forma remota. Por ello, sería una buena vía de investigación futura, el analizar retardos y cerraduras que se gobiernen desde una CRA⁷, que únicamente permita su apertura bajo unos protocolos estrictos de seguridad, o en su defecto, tener medios de visualización y aviso de manipulación desde dispositivos móviles.

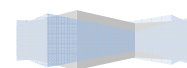


⁷ CRA: Central receptora de Alarmas

6. BIBLIOGRAFÍA

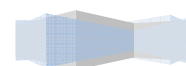
En la realización del proyecto se han consultado los siguientes libros y documentos:

- ✓ Apuntes de Tecnología Mecánica de 3º de Ingeniería Técnica Industrial esp. Mecánica, Universidad Carlos III Madrid
- ✓ Apuntes de Resistencia de Materiales de 2º de Ingeniería Técnica Industrial esp. Mecánica, Universidad Carlos III Madrid
- ✓ Apuntes de Materiales Industriales de 2º de Ingeniería Técnica Industrial esp. Mecánica, Universidad Carlos III Madrid
- ✓ Apuntes de Teoría de Mecanismos de 2º de Ingeniería Técnica Industrial esp. Mecánica, Universidad Carlos III Madrid
- ✓ Manual práctico Solid Edge V19, servicios informáticos
- ✓ Manuales de prácticas de Diseño Asistido por Computador, 2º de Ingeniería Industrial esp. Mecánica, Universidad Carlos III Madrid
- ✓ Autocad 2010 (Manual Avanzado), Autor: *Fernando Montaña La Cruz*
- ✓ Manuales de prácticas de Abaqus de Resistencia de Materiales, curso de Adaptación al Grado en Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III Madrid.
- ✓ UNE-EN 1143-1: **"Unidades de Almacenamiento de seguridad. Requisitos, clasificación y métodos de ensayo para resistencia al robo"**
- ✓ UNE-EN 1300:2005
- ✓ UNE-EN 1097-2:2010; **"Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación"**.
- ✓ UNE-EN 83115:1989: **"Áridos para hormigones. Medida del coeficiente de friabilidad de las arenas."**
- ✓ UNE-EN 933-2:1996: **"Mínima abertura del tamiz de la serie UNE por el que pase más de un 90% en peso y por el tamiz doble, pase la totalidad de la muestra."**
- ✓ UNE-EN 933-2:1996: **"Mínima abertura del tamiz de la serie UNE por el que pase más de un 90% en peso y por el tamiz doble, pase la totalidad de la muestra."**
- ✓ UNE-EN 80307:96: **"Cementos para usos especiales"**
- ✓ ASTM A128: **"Standard Specification for Steel Castings, Austenitic Manganese"**
- ✓ Instrucción de hormigón estructural "EHE"



Además se han consultado las siguientes páginas web

- ✓ <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0044780&pdf=>
- ✓ http://www.belt.es/legislacion/vigente/seg_corp/Normas%20UNE.htm
- ✓ <http://html.rincondelvago.com/diagrama-de-equilibrio-de-las-aleaciones-fec.html>
- ✓ <http://www.alu-stock.es/tecnica/proptipicas.htm#serie2000>
- ✓ [http://www.construmatica.com/construpedia/Polvo de Aluminio](http://www.construmatica.com/construpedia/Polvo_de_Aluminio)
- ✓ <http://www.hormigonesguadarranque.es/ficha.html>
- ✓ http://shop.berner.eu/berner/es/category/ES_K_ED/Todos+los+productos/Herramientas+electricas+y+neumaticas?conversationContext=1&autoForward=true
- ✓ <http://www.sargentandgreenleaf.com/>
- ✓ <http://www.aga.es/>
- ✓ <http://www.stslocks.com/>
- ✓ www.btv.es
- ✓ [http://www.arcasolle.com/articles-mostra-1852-esp-retardo y bloqueo para joyerias admin. de loteria y banca.htm](http://www.arcasolle.com/articles-mostra-1852-esp-retardo_y_bloqueo_para_joyerias_admin._de_loteria_y_banca.htm)
- ✓ www.arfe.com
- ✓ www.baussa.es
- ✓ www.ferrimax.es
- ✓ [http://www.upv.es/pms2002/Comunicaciones/017 VARELA.PDF](http://www.upv.es/pms2002/Comunicaciones/017_VARELA.PDF)
- ✓ <http://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/Martensita.htm>



7. ANEXOS

Anexo A: Designación de grado de cajas fuertes

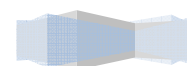
Tabla 1

Requisitos mínimos para la clasificación de cajas fuertes según clases de resistencia

Clase de resistencia	Ensayo de ataque con herramienta (capítulo 7)		Fuerza de anclaje ¹⁾ (capítulo 8) Fuerza requerida	Cerraduras		Requisitos adicionales para la designación EX (opcional) (capítulo 9) Valor de resistencia post-detonación RU
	al acceso parcial	al acceso completo		Cantidad	Tipo de acuerdo con la Norma Europea EN 1300	
	RU	RU	kN			
0	30	30	50	1	A	2)
I	30	50	50	1	A	2)
II	50	80	50	1	A	4
III	80	120	50	1	B	6
IV	120	180	100	2	B	9
V	180	270	100	2	B	14
VI	270	400	100	2	C	20
VII	400	600	100	2	C	30
VIII	550	825	100	2	C	41
IX	700	1 050	100	2	C	53
X	900	1 350	100	2	C	68

1) Aplicable sólo para cajas fuertes autónomas de menos de 1 000 kg.

2) La designación EX no es posible para los grados 0 y I.



Anexo B: Clasificación de cerraduras de alta seguridad

Tabla 1 – Requisitos de seguridad para todas las CAS

Tipo y clase de CAS	Número mínimo de registros retenidos de eventos de apertura	Número mínimo de códigos utilizables para cada tipo de codificación		Número máximo de pruebas por hora para cada tipo de medio de codificación		Resistencia a la manipulación M	Resistencia D a robo con daños
		Codificación material	Codificación nemotécnica ²⁾	Cualquiera	Nemotécnico	Unidades de resistencia mínimas RU	Unidades de resistencia mínimas RU
A electrónica	ninguno	25 000	80 000	300		30	80
A mecánica	no aplicable	25 000	80 000	no aplicable		30	80
B electrónica	10	100 000	100 000	100		60	135
B mecánica	no aplicable	100 000	100 000	no aplicable		60	135
C electrónica	50	1 000 000	1 000 000	30		100	250
C mecánica	no aplicable	1 000 000	1 000 000	no aplicable		100	250
D electrónica	500	3 000 000	3 000 000	10		620	500
D mecánica	no aplicable	3 000 000	3 000 000	10 ¹⁾		620	500

1) Excluyendo las cerraduras accionadas con llave.

2) El número mínimo de dígitos requeridos, sólo en el caso de cerraduras electrónicas, es seis (6).

{A1►} Tabla 2 – Requisitos mínimos de resistencia eléctrica y electromagnética en las condiciones de ensayos especificadas

Resistencia a los campos electromagnéticos, radiados y de radio-frecuencia (Método de ensayo EN 61000-4-3)			
Condiciones de ensayo	Clase de CAS	Condiciones de la cerradura ^a	
	A a B	O ^b	FS ^b
	C a D	O	O ^b
	Nivel de ensayo	3	4 ^c
Resistencia a las perturbaciones conducidas, inducidas por los campos de radiofrecuencia (Método de ensayo EN 61000-4-6)			
Condiciones de ensayo	Clase de CAS	Condiciones de la cerradura ^a	
	A a B	O	FS ^b
	C a D	O ^b	FS
	Nivel de ensayo	3	3
Resistencia a las descargas electrostáticas, a los transitorios eléctricos rápidos en ráfagas y a las ondas de choque de alta energía			
Nivel de ensayo	Clase de CAS A a D	Condiciones de la cerradura ^a	
		O	FS
	EN 61000-4-2	4	
	EN 61000-4-4		4
	EN 61000-4-5		4

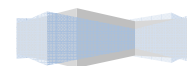
^a N > Operación normal O > Operativa FS > Fallo seguro

^b Indica la situación en la cual se debería ensayar la CAS.

^c Banda de frecuencia 200 MHz a 2 GHz.

{A1►} Tabla 3 – Condiciones de los factores medio ambientales físicos

Resistencia a las vibraciones (Método de ensayo EN 60068-2-6, resistencia por barrido)			
Clase de CAS	Aceleración g	Banda de frecuencia Hz	Ciclos
A a B	1	10 a 150	10
C a D	1	10 a 150	10



Anexo C: Muestreo de brocas para ensayo

Anexo C.1 Broca de Widia EXTREMEcut



PI La Rosa VI- Calle Albert Berner, 2 – 18330 Chauchina - Granada - España
Tel.: 902 103504 - Fax: 902 113190 - Internet: www.berner.es

Pág. 1 de 1

FICHA TÉCNICA

Nombre del producto: **Brocas punta widia EXTREMEcut**
Nº Artículo: **162171-162172-162173-162174-162175**
Nº Interno: **750206**

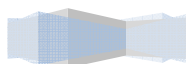


Características:

- Brocas Widia especiales para materiales duros pero delicados.
- Cogida cilíndrica.
- Utilizables con cualquier tipo de taladro sin percusión.
- Alto rendimiento de perforación y resistencia al desgaste.
- Especialmente indicadas para la perforación de ladrillos recocidos, tejas, cerámica, azulejos con resistencia al rayado hasta 8 (escala de Mohs).
- Indicadas con reservas en perforación de plásticos.

Medidas:

Nº de artículo	Diámetro (mm)	Longitud útil (mm)	Longitud total (mm)
162171	4	40	75
162172	5	50	85
162173	6	60	100
162174	8	80	120
162175	10	80	120



Anexo C.2 Broca de Cobalto

BERNER

Pl La Rosa VI- Calle Albert Berner, 2 – 18330 Chauchina - Granada - España
Tel.: 902 103504 - Fax: 902 113190 - Internet: www.berner.es

Pág. 1 de 1

FICHA TÉCNICA

Nombre del producto: **Broca de cobalto**

Características:

- Punta afilada en cruz, minimiza el desgaste de la broca.
- Especial para taladrar aceros de alta resistencia. El 5% de cobalto que contiene garantiza una alta resistencia.
- Material: acero rápido HSSE (5% Co).
- Dureza en tratamiento térmico: 63.5 – 66 Hrc.
- Forjada y rectificada en caliente.
- Ángulo de punta a 118° de inclinación.
- Cogida cilíndrica.

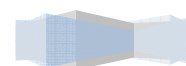
Dimensiones:

- Diámetro: desde 1 mm hasta 13 mm
- Largo total: desde 34 mm hasta 104 mm

Composición química:

Carbono (C):	0.92 %
Cromo (Cr):	4.10 %
Wolframio (W):	6.40 %
Vanadio (V):	1.90 %
Molibdeno (Mo):	5.00 %
Cobalto (Co):	5.00 %

Aplicaciones: aceros aleados y no aleados de dureza superior a 850 N/mm², aceros para trabajos en frío o caliente.



Anexo C.3 Broca prototipo de Titanio K20

BERNER

PI La Rosa VI- Calle Albert Berner, 2 – 18330 Chauchina - Granada - España
Tel.: 902 103504 - Fax: 902 113190 - Internet: www.berner.es

Pág. 1 de 1

FICHA TÉCNICA

Nombre del producto: **Brocas carburo K20 Berner**

Características:

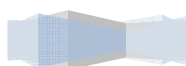
- Especialmente desarrolladas para trabajos con materiales de alta dureza: cajas fuertes, frentes de cerraduras u otros objetos de acero de alta resistencia.
- Materiales a perforar:
 - Acero <2100 N/mm²
 - Fundición gris laminada <270 HB
 - Composites

Datos técnicos:

- Material: cuerpo de acero HSS y punta con placa de carburo superior K20.
- Cogida: cilíndrica.
- Espiral a derecha: 25°
- Profundidad máxima: 3 x ø

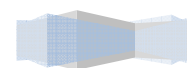
Normas:

DIN 338
NFE 66067



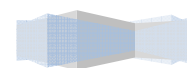
Anexo B.1 Ensayos de taladrado

Tipo de Ensayo	Procedimiento	Filo	Ensayo	RU	VR	Σt	c	ΣBV	Cambios de filo
Acceso parcial	Ataque a elementos clave	HSS+ Widia	A.1	283	282,60	24,66	10	36	8
		HSS+ Widia	A.2	289	288,30	25,23	10	36	8
		HSS+ Widia	A.3	296	295,80	25,98	10	36	8
		HSS+ Widia	A.4	297	296,30	26,03	10	36	8
		HSS+ Widia	A.5	299	298,40	26,24	10	36	8
		HSS+ Widia	A.6	310	309,30	27,33	10	36	9
		HSS+ Widia	A.7	317	316,10	28,01	10	36	9
		HSS+ Widia	A.8	326	325,70	28,97	10	36	10
		HSS+ Widia	A.9	341	341,00	30,50	10	36	12
		HSS+ Widia	A.10	347	346,30	31,03	10	36	12
Acceso parcial	Ataque a elementos clave	Broca Cobalto HSSE+Widia	B.1	242	242,00	20,50	10	37	6
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.2	252	252,00	21,50	10	37	6
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.3	255	254,80	21,78	10	37	6
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.4	257	256,70	21,97	10	37	7
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.5	262	261,30	22,43	10	37	8
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.6	263	262,34	22,53	10	37	8
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.7	267	267,00	23,00	10	37	9
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.8	273	272,50	23,55	10	37	10
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.9	275	274,80	23,78	10	37	10
		Broca Cobalto HSSE+Widia	B.10	288	288,00	25,10	10	37	11
Acceso parcial	Ataque a elementos clave	Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.1	214	213,40	17,44	10	39	6
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.2	214	214,00	17,50	10	39	6
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.3	220	219,90	18,09	10	39	6
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.4	222	221,70	18,27	10	39	6
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.5	223	222,20	18,32	10	39	5
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.6	224	223,30	18,43	10	39	6
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.7	234	233,30	19,43	10	39	7
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.8	235	234,60	19,56	10	39	7
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.9	239	239,00	20,00	10	39	8
		Broca carburo K20 Prototipo Berner+Widia	C.10	242	241,90	20,29	10	39	8



Anexo B.2 Ensayos de corte radial

Tipo de Ensayo	Procedimiento	Filo [mm]	Ensayo	RU	VR	Σt	c	ΣBV	Cambios de filo
Acceso completo	Corte radial	Disco de abrasión	D.1	347	347,0	32,2	10	25	2
		Disco de abrasión	D.2	355	355,0	33,0	10	25	2
		Disco de abrasión	D.3	344	344,0	31,9	10	25	2
		Disco de abrasión	D.4	348	348,0	32,3	10	25	2
		Disco de abrasión	D.5	344	344,0	31,9	10	25	2
		Disco de abrasión	D.6	364	364,0	33,9	10	25	3
		Disco de abrasión	D.7	368	367,3	34,2	10	25	3
		Disco de abrasión	D.8	365	365,0	34,0	10	25	3
		Disco de abrasión	D.9	374	374,0	34,9	10	25	4
		Disco de abrasión	D.10	375	375,0	35,0	10	25	4
Acceso completo	Corte radial	Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.1	344	344,0	30,5	10	39	2
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.2	350	350,0	31,1	10	39	2
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.3	341	341,0	30,2	10	39	2
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.4	340	340,0	30,1	10	39	2
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.5	339	339,0	30,0	10	39	2
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.6	332	332,0	29,3	10	39	2
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.7	349	349,0	31,0	10	39	2
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.8	359	359,0	32,0	10	39	3
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.9	360	360,0	32,1	10	39	3
		Disco diamantado $\phi \leq 125$, e $\leq 2,5$	E.10	362	362,0	32,3	10	39	3
Acceso completo	Corte radial	Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.1	309	309,0	26,0	10	49	2
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.2	303	303,0	25,4	10	49	2
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.3	310	310,0	26,1	10	49	2
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.4	312	312,0	26,3	10	49	2
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.5	316	316,0	26,7	10	49	2
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.6	301	301,0	25,2	10	49	2
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.7	305	305,0	25,6	10	49	2
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.8	314	314,0	26,5	10	49	3
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.9	313	313,0	26,4	10	49	3
		Disco diamantado $\phi \leq 230$	F.10	324	324,0	27,5	10	49	4



Anexo B.3 Ensayo con lanza térmica

Tipo de Ensayo	Procedimiento	Variantes	Ensayo	RU	VR	Σt	c	ΣBV	Cambios de filo
Acceso completo	Lanza térmica	Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.1	312	312,00	18,00	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.2	317	316,80	18,32	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.3	309	309,00	17,80	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.4	318	318,00	18,40	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.5	311	310,50	17,90	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.6	320	319,50	18,50	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.7	314	313,80	18,12	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.8	311	310,35	17,89	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.9	323	322,50	18,70	15	42	
		Consumo oxígeno ≤ 750 l/min	G.10	318	318,00	18,40	15	42	
Acceso completo	Lanza térmica	Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.1	311	310,45	16,23	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.2	307	307,00	16,00	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.3	315	314,50	16,50	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.4	331	331,00	17,60	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.5	319	319,00	16,80	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.6	324	323,50	17,10	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.7	310	310,00	16,20	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.8	316	315,40	16,56	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.9	310	310,00	16,20	15	67	
		Suplemento eléctrico ≤ 350 A	H.10	318	317,50	16,70	15	67	
Acceso completo	Lanza térmica	Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.1	290	289,50	14,30	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.2	288	288,00	14,20	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.3	297	296,70	14,78	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.4	293	292,50	14,50	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.5	284	283,50	13,90	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.6	290	289,50	14,30	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.7	294	294,00	14,60	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.8	302	301,50	15,10	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.9	288	288,00	14,20	15	75	
		Lanza $\phi \leq 7$ mm ; $\phi_i \leq 3,5$ mm; $l \leq 450$ mm	I.10	291	290,10	14,34	15	75	

